

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE DVB-T E ISDB-T UTILIZANDO
MODULACIÓN CC-OFDM**

**AUTORES:
JOSÉ GREGORIO GÓMEZ QUIGUANTAR
HOLGER ALEXANDER LAPO CÓRDOVA**

**TUTOR:
LUIS GERMÁN OÑATE CADENA**

Quito, enero del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, José Gregorio Gómez Quiguntar y Holger Alexander Lapo Córdova con documentos de identificación N° 1724348238 y N° 0704389931, respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE DVB-T e ISDB-T UTILIZANDO MODULACION CC-OFDM”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
José Gregorio Gómez Quiguntar
C.I.: 1724348238



.....
Holger Alexander Lapo Córdova
C.I.: 0704389931

Quito, enero del 2019

DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE DVB-T E ISDB-T UTILIZANDO MODULACIÓN CC-OFDM” realizado por: José Gregorio Gómez Quiguntar y Holger Alexander Lapo Córdova, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero del 2019



.....
Luis Germán Oñate Cadena

C.I.: 1712157401

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación a Dios y al Doctor José Gregorio Hernández por forjar mi camino y dirigirme por el sendero correcto, sin ellos me sería imposible alcanzar algún logro en la vida.

A mis padres Santos Gómez y Rosario Quiguntar quienes siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo incondicional y sus consejos haciendo de mí una mejor persona.

José Gregorio Gómez Quiguntar

Dedico este proyecto técnico de titulación a Dios por haberme guiado por el camino del bien y haberme otorgado salud para cumplir con mis objetivos, además de brindarme todo su amor e infinita bondad, a mi madre por el apoyo incondicional por sus consejos, valores impartidos y lo más importante por darme todo su amor que me han llevado a ser una persona de bien, a mi padre por todos los ejemplos de perseverancia y superación que lo caracterizan y que siempre me ha sabido transmitir y por su gran amor.

Holger Alexander Lapo Córdova

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme en todo momento por el camino del bien. A mis padres por su apoyo y ánimo permanente, facilitándome de todo lo necesario, no únicamente durante mis estudios universitarios sino a lo largo de toda mi vida.

Al Ingeniero Luis Oñate por su asesoría, orientación y disposición en el desarrollo de este proyecto.

A mis amigos por su compañía, motivación y apoyo a lo largo de la carrera.

José Gregorio Gómez Quiguntar

Agradezco infinitamente a Dios por haberme dado toda la fuerza y valor necesario para poder culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco a mis padres por haberme enseñado buenos consejos y valores para poder superar cualquier obstáculo en la vida, por su paciencia, por todo su esfuerzo que me han entregado para culminar este proyecto satisfactoriamente. Siendo ellos la mayor motivación en mi vida, además de ser el ingrediente perfecto para poder lograr alcanzar esta dichosa y merecida victoria en mi vida.

Agradecer especialmente a mi tutor el Ing. Luis Oñate por su asesoría siempre dispuesta, por sus ideas y recomendaciones respecto a la realización de este proyecto.

A mis hermanas y amigos que supieron apoyarme en todo momento durante la ejecución de este proyecto, ya que con sus ánimos y buenas recomendaciones me dieron el impulso para culminar este proyecto.

Holger Alexander Lapo Córdova

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.....	2
ANTECEDENTES	2
1.1 Planteamiento del Problema	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general.	4
1.3.2 Objetivos específicos.	4
1.4 Metodología.....	4
CAPÍTULO 2.....	6
MARCO TEORICO	6
2.1 Estándares De Televisión Digital Terrestre	6
2.1.1 ISDB-T (Radiodifusión Digital de Servicios Integrado para Televisión)..	6
2.1.1.1 Transmisor ISDB-T (Radiodifusión Digital de Servicios Integrado para Televisión).....	7
2.1.1.2 Receptor ISDB-T (Radiodifusión Digital de Servicios Integrado para Televisión).....	8
2.1.2 DVB-T (Radiodifusión de Video Digital para Televisión)	9
2.1.2.1 Transmisor DVB-T (Radiodifusión de Video Digital para Televisión).....	9
2.1.2.2 Receptor DVB-T(Radiodifusión de Video Digital para Televisión)	10
2.2 Modulación CC-OFDM	12
CAPÍTULO 3.....	13
SIMULACIÓN DE LOS ESTANDARES DVB-T E ISDB-T EN SIMULINK UTILIZANDO MODULACIÓN OFDM Y CC-OFDM.....	13
3.1 Modelo DVB-T (Radiodifusión de Video Digital para Televisión)	13
3.1.1 Diagrama de bloques de transmisión y recepción del estándar DVB-T aplicando modulación OFDM	14
3.1.2 Bloques de Simulink para DVB-T aplicando modulación OFDM.....	16
3.1.2.1 Generador de imagen	16

3.1.2.2 Codificador Reed Solomon	16
3.1.2.3 Convertidor de enteros a bits.....	16
3.1.2.4 Entrelazador interno	16
3.1.2.5 Modulador 64-QAM	16
3.1.2.6 Modulación OFDM.....	17
3.1.2.7 Canal AWGN y Multicamino	17
3.1.2.8 Demodulador OFDM	18
3.1.2.9 Demodulación de portadora	18
3.1.2.10 Desentrelazado de tiempo y frecuencia.....	18
3.1.2.11 Convertidor de bits a enteros	18
3.1.2.12 Decodificador Reed Solomon	19
3.1.2.13 Presentación de la imagen transmitida.....	19
3.1.2.14 Cálculo de errores	19
3.1.2.15 Cálculo de retardo	19
3.1.3 Diagrama de bloques de transmisión y recepción del estándar DVB-T aplicando modulación CC-OFDM.....	19
3.1.4 Bloques de Simulink empleados en la simulación del estándar DVB-T aplicando modulación CC-OFDM.....	20
3.1.4.1 Entrelazador convolucional.....	21
3.1.4.2 Codificador convolucional	21
3.1.4.3 Decodificador Viterbi.....	21
3.1.4.4 Desentrelazador convolucional	22
3.2 Modelo ISDB-T	22
3.2.1 Diagrama de bloques de transmisión y recepción del estándar ISDB-T aplicando modulación OFDM	22
3.2.2 Bloques de Simulink para ISDB-T aplicando modulación OFDM	24
3.2.2.1 Generador de imagen	24
3.2.2.2 Codificador Reed Solomon	24
3.2.2.3 Convertidor de enteros a bits.....	24
3.2.2.4 Modulación de Portadora	24
3.2.2.5 Entrelazado de tiempo y frecuencia	24
3.2.2.6 Modulación OFDM.....	25
3.2.2.7 Canal AWGN y Multicamino	25
3.2.2.8 Demodulador OFDM	25

3.2.2.9 Desentrelazado de tiempo y frecuencia.....	25
3.2.2.10 Demodulación de portadora	25
3.2.2.11 Convertidor de bits a enteros	26
3.2.2.12 Decodificador Reed Solomon	26
3.2.2.13 Filtro Mediano.....	26
3.2.2.14 Presentación de la imagen transmitida.....	26
3.2.3 Diagrama de bloques de transmisión y recepción del estándar ISDB-T aplicando modulación CC-OFDM.....	26
3.2.4 Bloques de Simulink para ISDB-T aplicando modulación CC-OFDM	28
3.2.4.1 Entrelazador convolucional.....	28
3.2.4.2 Codificador convolucional	28
3.2.4.3 Decodificador Viterbi.....	28
3.2.4.4 Desentrelazador convolucional	28
3.3 Interfaz de usuario para la simulación de los estándares DVB-T e ISDB-T ...	29
CAPITULO 4.....	31
PRUEBAS Y RESULTADOS	31
4.1 Resultados de los parámetros al transmitir una Imagen RGB como señal de entrada	31
4.2 Resultados de las pruebas con una Imagen RGB aplicando trayectoria multicamino.....	33
4.3 Cálculo para obtener la eficiencia en los estándares TDT estudiados	35
4.4 Cálculo de la eficiencia para los estándares TDT estudiados aplicando efecto muticamino.....	37
CAPITULO 5.....	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
5.1 Conclusiones	39
5.2 Recomendaciones	40
LISTA DE REFERENCIAS	41
ANEXOS	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Bloques de un transmisor ISDB-T.....	7
Figura 2.2. Bloques de un receptor ISDB-T	8
Figura 2.3. Bloques de un transmisor DVB-T	9
Figura 2.4. Bloques de un receptor DVB-T	11
Figura 2.5. OFDM con el código de convolución.....	12
Figura 3.1. Diagrama de bloques general del sistema de comunicación a simular....	13
Figura 3.2. Diagrama de bloques para el estándar DVB-T con modulación OFDM elaborado en Simulink de Matlab	15
Figura 3.3. Diagrama de bloques para el estándar DVB-T con modulación CC-OFDM elaborado en Simulink de Matlab	20
Figura 3.4. Diagrama de bloques para el estándar ISDB-T con modulación OFDM elaborado en Simulink de Matlab	23
Figura 3.5. Diagrama de bloques para el estándar ISDB-T con modulación CC-OFDM elaborado en Simulink de Matlab	27
Figura 3.6. Interfaz de usuario para controlar la simulación.....	29
Figura 4.1. BER vs SNR con imagen RGB de señal de entrada aplicando efecto multicamino para el estándar ISDB-T.....	34
Figura 4.2. BER vs SNR con imagen RGB de señal de entrada aplicando efecto multicamino para el estándar DVB-T.....	34
Figura 4.3. Eficiencia entre los dos estándares TDT estudiados.....	36
Figura 4.4. Eficiencia para ISDB-T al aplicar multicamino	38
Figura 4.5. Eficiencia para DVB-T al aplicar multicamino	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Canales SUI-1 y SUI-6	17
Tabla 4.1. Resultados del Bit Error Rate	31
Tabla 4.2. Resultados del bloque Find Delay	32
Tabla 4.3. Velocidad de transmisión de estándares TDT.....	32
Tabla 4.4. Resultados del delay	33
Tabla 4.5. Número total de portadoras modo 2K.....	33
Tabla 4.6. Resultados del BER vs SNR [dB] con efecto multicamino.	34
Tabla 4.7. Porcentaje de eficiencia en los estándares ISDB-T y DVB-T con una SNR= 19 [dB]	36
Tabla 4.8. Eficiencia para los estándares ISDB-T y DVB-T con una SNR= 16 [dB] en los valores aproximados	37

RESUMEN

Este proyecto está enfocado al sistema de Televisión Digital Terrestre (TDT) ya que al sustituir las transmisiones de televisión analógica por dicho sistema usando modulación OFDM (multiplexación por división de frecuencias ortogonales), se puede realizar transmisiones para equipos fijos. Sin embargo, en el caso de sistemas de recepción de televisión digital como teléfonos inteligentes, laptops y otros dispositivos móviles se tienen problemas en la recepción por el efecto multicamino para ello se decidió aplicar una modulación CC-OFDM para mejorar la calidad de la imagen de tipo OneSeg con una resolución máxima de [320x240] pixeles, disminuyendo además los bits errados en la transmisión. Se implementan las modulaciones OFDM y CC-OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales mediante Codificación por Convolución) para los estándares ISDB-T (Radiodifusión Digital de Servicios Integrado para Televisión) y DVB-T (Radiodifusión de Video Digital para Televisión) en banda UHF. Por medio de Simulink de Matlab se implementó los diagramas de bloques, para observar los resultados al transmitir datos, midiendo el BER (Tasa de Bit Errado), el retardo y el número de portadoras, bajo tres tipos de canales como: AWGN (Ruido Gaussiano Blanco Aditivo), terreno A (terreno rural) y terreno C (terreno urbano) con el fin de observar cuál estándar presenta la mejor eficiencia. De los resultados obtenidos se muestra que el estándar con mayor eficiencia es el DVB-T con modulación CC-OFDM, debido a que se adapta de mejor manera a los entornos urbano y rural porque presenta un BER menor y reducción en el retardo en la recepción.

ABSTRACT

This project is focused on the Digital Terrestrial Television (DTT) system, since by replacing analog television transmissions with this system using OFDM modulation (orthogonal frequency division multiplexing), transmissions can be made for fixed equipment. However, in the case of digital television reception systems such as smartphones, laptops and other mobile devices there are problems with reception due to the multipath effect. For this purpose, it was decided to apply a CC-OFDM modulation to improve the image quality of the television. OneSeg type with a maximum resolution of [320x240] pixels, also decreasing the wrong bits in the transmission. The OFDM and CC-OFDM modulations (Orthogonal Frequency Division Multiplexing by Convolution Coding) are implemented for the ISDB-T (Digital Broadcasting of Integrated Services for Television) and DVB-T (Broadcasting of Digital Video for Television) standards in band. UHF. By means of Simulink de Matlab, the block diagrams were implemented, to observe the results when transmitting data, measuring the BER (Bit Error Rate), the delay and the number of carriers, under three types of channels: AWGN (Gaussian Noise Additive White), land A (rural land) and land C (urban land) in order to observe which standard presents the best efficiency. From the results obtained, it is shown that the standard with the highest efficiency is DVB-T with CC-OFDM modulation, because it adapts better to urban and rural environments because it has a lower BER and a reduction in reception delay.

INTRODUCCIÓN

La televisión digital está orientada a sustituir la televisión análoga con aplicaciones interactivas y la capacidad de transmitir varias señales sobre un mismo canal asignado, los sistemas de recepción de TDT como: teléfonos inteligentes, laptops y otros dispositivos móviles tienen problemas de ruido impulsivo en los estándares DVB-T e ISDB-T por el efecto multicamino usando la modulación habitual OFDM.

En el capítulo uno se detalla el planteamiento del problema, objetivos generales y específicos, justificación, metodología para comparar la modulación en los dos estándares de TDT.

En el capítulo dos se especifica el funcionamiento y las características principales de los estándares de TDT a estudiar, además del funcionamiento que realiza la modulación CC-OFDM en relación con OFDM.

El capítulo tres describe los respectivos diagramas de bloques para la simulación de los dos estándares de TDT, con sus respectivas modulaciones utilizando Simulink de Matlab, además se detalla el funcionamiento de cada bloque para cada arquitectura, aplicando una interfaz gráfica de usuario para controlar cada una de las simulaciones.

El capítulo cuatro describe las pruebas y resultados de dos escenarios (urbano y rural) aplicando efecto multicamino, determinando mediante las simulaciones los parámetros como: el delay, número de portadoras, tasa de error bit (BER) y la eficiencia de cada estándar de TDT, considerando dos modulaciones CC-OFDM y OFDM. La eficiencia en la transmisión se obtiene conociendo el total de bits y el total de bits erróneos, obteniendo la eficiencia con menor porcentaje de bits erróneos.

El capítulo cinco presenta las conclusiones y recomendaciones, así como también las referencias bibliográficas consultadas, además en el apartado de anexos contiene: la programación realizada en Matlab, el espectro de los estándares con las modulaciones, diagrama de constelaciones, la imagen de entrada y salida.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

En este capítulo se describe el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos que deberán ser cumplidos, el alcance del proyecto y se detallará la metodología utilizada.

1.1 Planteamiento del Problema

Actualmente el estándar de televisión digital terrestre ISDB-Tb (ISDB-T Built-in), también llamado ISDB-T International y SBTVD (Sistema Brasileño de Televisión Digital) es un estándar de televisión digital, basado en el sistema japonés ISDB-T, es el más implantado en Latinoamérica, entre ellos Ecuador, y el estándar DVB-T es utilizado en Colombia. (CRC, 2012)

En los estándares ISDB-T y DVB-T se denota que existe un problema de ruido impulsivo y propagación multicanal en la transmisión para lo cual es recomendable basarse en los análisis respectivos de estudios realizados anteriormente.

El ruido impulsivo es importante en la TV digital terrestre, es de corta duración. Se identifica por un tiempo de subida rápido y puede aparecer tanto en VHF como en UHF. La actividad industrial contamina el espectro de radiofrecuencia con esta clase de señales. Los agentes contaminantes pueden ser líneas de transmisión de energía eléctrica, motores de coches, electrodomésticos, etc.

Debido al efecto de la propagación multicamino, la señal llega al receptor por varios caminos de diferente longitud, aunque no sólo la señal original se puede tener interferencias de otras señales tanto de banda ancha como de banda angosta. Gracias a estas múltiples versiones de la señal original dan lugar a IES (Interferencia Entre Símbolos), puede llegar a ser muy difícil recuperar la información original, ya que un símbolo transmitido puede llegar al receptor junto con símbolos previos, a diferencia de las comunicaciones por satélite donde hay un solo camino directo desde el transmisor al receptor. La interferencia solar puede dañar o afectar la transmisión de

los satélites dos veces al año durante los meses de febrero/marzo y septiembre/octubre. Este tipo de interferencia puede causar la distorsión o pérdida de señal por períodos de 1 hasta 15 minutos por día, esta interferencia es la más común en las transmisiones por satélite causada por la radiación solar.

El desvanecimiento generado por la propagación multicamino degrada la calidad de las comunicaciones, y las señales transmitidas tienen que atravesar diferentes obstáculos que se le presentan en el camino, como por ejemplo: montañas, edificios, carros, casas, túneles, lluvia, tormentas, etc., esto reduce la calidad y fiabilidad del canal, a este efecto hay que sumar la presencia de otros repetidores a nuestro alrededor, que por el hecho de estar a una distancia diferente y no atravesar un medio con las mismas condiciones, provocan ecos, que son señales semejantes desplazadas en tiempo, en la señal que recibimos. Cuando esto ocurre, las señales superpuestas llegan a nuestro sintonizador y éste no es capaz de reconstruir una señal válida.

Mediante la utilización del software Matlab, se puede simular el diagrama de bloques para transmisión y recepción de los sistemas ISDB-T y DVB-T, para poder conocer ampliamente sus tecnologías y cómo la modulación OFDM y CC-OFDM aporta grandes cambios en la televisión digital.

1.2 Justificación

En la actualidad no se puede asegurar que existe una comparación clara entre cual estándar de TV Digital es mejor como el ISDB-T o DVB-T y además no se sabe cómo actúa la modulación CC-OFDM en dichos estándares por lo que es necesario realizar un análisis profundo sobre el tema, realizando las respectivas simulaciones usando el software Matlab para poder conocer la reacción que efectúa la modulación CC-OFDM en los estándares ISDB-T y DVB-T.

Considerando el inminente cambio de sistema de televisión analógica a digital, se hace necesario adoptar un estándar de televisión digital terrestre como lo son el DVB-T e ISDB-T. El gobierno nacional del Ecuador anunció el 26 de marzo del 2010 que adoptará el sistema japonés-brasileño (ISDB-T/SBTVD) para el desarrollo de su Televisión Digital Terrestre (TDT), tras casi dos años de negociaciones con los

proveedores de los diferentes modelos que se ofrecen en el mundo porque la TDT mejora la calidad y nitidez de la imagen eliminando interferencias de las señales audiovisuales, lo que permitirá mejorar la recepción de señales en dispositivos portátiles y móviles, además optimizará el uso del espectro radioeléctrico nacional. Las personas beneficiadas con este proyecto son los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica y todo aquel que esté interesado en televisión digital terrestre.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

- Analizar para los sistemas de transmisión digital terrestre los estándares DVB-T e ISDB-T usando la modulación CC-OFDM, para determinar cuál de los dos estándares de TDT es más eficiente ante la transmisión multicamino.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Analizar las tecnologías de televisión digital terrestre DVB-T e ISDB-T para luego ser implementadas en un simulador.
- Implementar DVB-T e ISDB-T en Matlab utilizando modulación OFDM Y CC-OFDM para determinar algunos parámetros como: el BER, delay y número de portadoras.
- Comparar en base a los parámetros simulados DVB-T e ISDB-T para determinar cuál es más eficiente en una transmisión multicamino.

1.4 Metodología

Este proyecto de titulación se centra en la recopilación de datos existentes en forma documental ya sea de libros, textos o cualquier otro tipo de documentos para luego llevar esa investigación recopilada a algo material o experimental por ello se realizarán varias pruebas de simulaciones que confirman el respectivo análisis comparativo entre los estándares ISDB-T y DVB-T usando la modulación CC-OFDM para lo cual la metodología que se va a seguir es Experimental y Analítica para que el proyecto sea viable y tenga satisfactorios resultados.

En las metodologías antes mencionadas se seguirán cuatro fases importantes para el desarrollo del proyecto y son las siguientes:

1.- Una fase inicial de investigación o selección de fuentes bibliográficas.

Para realizar el respectivo proyecto es necesario conocer los estándares ISDB-T y DVB-T con su respectiva modulación CC-OFDM investigar esto es muy importante ya que este proyecto se concentra en un análisis profundo de investigación por ello en necesario contar con buenas fuentes bibliográficas.

2.- Fase de Elaboración del proyecto.

- Conocer cuáles son los componentes principales de las arquitecturas que comprenden los estándares ISDB-T y DVB-T al igual que la respectiva modulación OFDM y CC-OFDM para posteriormente implementarlo en la simulación en Matlab.

3 - Fase de implementación o ejecución.

- Planificación de la respectiva simulación de la modulación CC-OFDM, así como también un breve análisis de la modulación OFDM.
- Realizar pruebas en el software Matlab con el objetivo de asegurar que el proyecto está marchando bien.

4 - Evaluación final o Verificación de resultados.

En esta fase se realizará los respectivos análisis comparativos de los datos simulados que se obtuvieron en la fase de implementación del proyecto con el fin de terminar el proyecto satisfactoriamente y obtener importantes conclusiones del tema.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

Este capítulo se describe los estándares de televisión digital como es el ISDB-T (Radiodifusión Digital de Servicios Integrado para Televisión) y DVB-T (Radiodifusión de Video Digital para Televisión) y la modulación CC-OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales mediante Codificación por Convolución).

2.1 Estándares De Televisión Digital Terrestre

2.1.1 ISDB-T (Radiodifusión Digital de Servicios Integrado para Televisión)

El estándar ISDB-T (Radiodifusión Digital de Servicios Integrado para Televisión) tuvo sus orígenes en Japón siendo desarrollado en los últimos años de la década de 1990. El objetivo principal de este estándar de televisión digital fue concertar la transmisión HDTV (TV de Alta Definición) y la SDTV (TV Digital Estándar) simultáneamente. ISDB-T fue diseñado para funcionar en canales con un ancho de banda de 6, 7 y 8 MHz respectivamente. En el Ecuador este proyecto está previsto que trabaje solamente con un canal de 6 MHz, además de HD y SD ofrece servicio de OneSeg ya que es un servicio de transmisión de TDT y datos complementarios, diseñado para ser captado en dispositivos móviles, forma parte del sistema ISDB-T. La transmisión de señales HD ocupa 12 segmentos, la SD entre 2 y 4 segmentos dependiendo del códec de compresión de datos y el OneSeg un segmento, la utilización de un segmento para servicios de baja velocidad de transferencia se conoce como (1 SEG) y está diseñado para transmitir televisión de baja resolución para teléfonos celulares. (PISCIOTTA, Sistema ISDB-T, Primera Parte-2014)

2.1.1.1 Transmisor ISDB-T (Radiodifusión Digital de Servicios Integrado para Televisión)

En la siguiente Figura 2.1, se observa el diagrama de bloques de un Transmisor del estándar ISDB-T en el cual se aprecian las siguientes etapas: entrada, bloques de codificación del canal, bloques de modulación y etapa final de radiofrecuencia.

Figura 2.1. Bloques de un transmisor ISDB-T

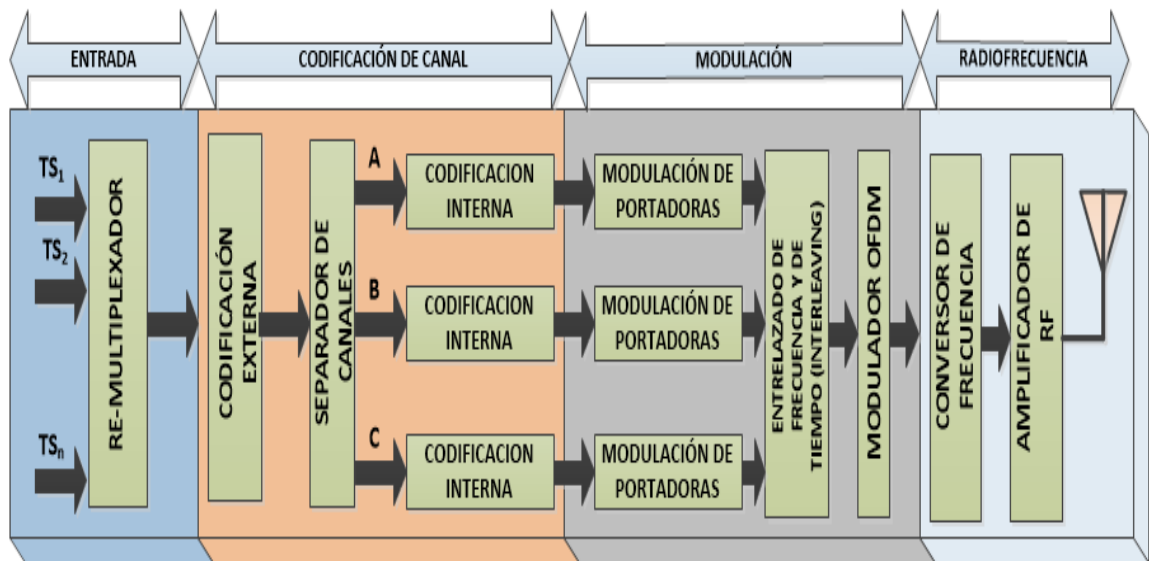


Diagrama de bloques general de un sistema de transmisión ISDB-T, (PISCIOTTA, Sistema ISDB-T, Primera Parte-2014)

En la primera etapa se observa el bloque de entrada de datos el cual contiene un dispositivo RE-MULTIPLEXADOR que se encarga de realizar la adaptación de flujo TS-MPEG (Moving Picture Experts Group - Transport Stream) para el debido funcionamiento de sistema ISDB-T. (PEREZ, 2013)

En la etapa de codificación del canal se agrega protección a los bits de datos además de ajustar retardos y dispersar energía. Los bloques de modulación ejecutan el mapeo de bits, armonizan las capas jerárquicas, entrelazados en tiempo y frecuencia, completando el cuadro OFDM. En la etapa final de radiofrecuencia se realiza el respectivo filtrado y la amplificación de la frecuencia a transmitir. (PISCIOTTA, Sistema ISDB-T, Primera Parte-2014)

2.1.1.2 Receptor ISDB-T (Radiodifusión Digital de Servicios Integrado para Televisión)

En la siguiente Figura 2.2, se observa el diagrama de bloques general de un receptor del estándar ISDB-T.

Figura 2.2. Bloques de un receptor ISDB-T

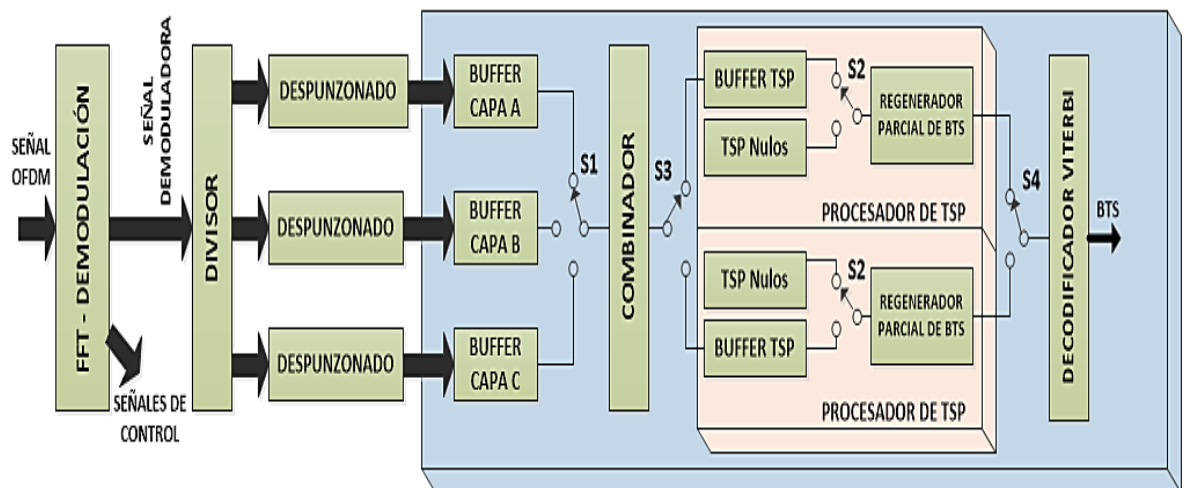


Diagrama de bloques general de un sistema de transmisión ISDB-T, (PISCIOTTA, Remultiplexor ISDB-T, 2014)

Posteriormente de la FFT (Transformada Rápida de Fourier) y la demodulación de las portadoras, el divisor separa los datos según su capa jerárquica y los orienta a donde pertenezcan. Los datos obtenidos anteriormente son ingresados a la fase de despunzonado en donde se invierte el proceso efectuado en el transmisor (punzonado). En el despunzonado se completan los espacios de los bits suprimidos en la transmisión. Un TSP (Paquete de flujo de transporte) sin codificar almacena 1632 bits, después de la codificación convolucional un TSP tiene 3264 bits. La llave S1 escoge un buffer jerárquico cada vez que los bits almacenados alcanza los 3264 bits, siendo transferidos por la llave S3 al buffer de TSP. En el regenerador parcial de BTS (Flujo de Transporte de Difusión) se verifican los datos en el buffer de TSP, la llave S2 escoge el buffer y orienta el TSP hacia el regenerador parcial de BTS. Al no encontrar información o al no llegar a los 3264 bits, el regenerador cambia S2 al estado nulo. La llave S3 elige las unidades regeneradoras de TSP, ingresando la señal obtenida por el combinador y por último, la llave S4 permite enviar los flujos regenerados al decodificador Viterbi,

donde se recuperan los 1632 bits originales, la velocidad de lectura será igual a la frecuencia del reloj del BTS, permitiendo reconstruir el flujo recibido. (PISCIOTTA, Remultiplexor ISDB-T, 2014)

2.1.2 DVB-T (Radiodifusión de Video Digital para Televisión)

El estándar DVB-T fue creado por la DVB y publicado en marzo de 1997 este sistema permite transmitir audio, video y datos por medio de un flujo MPEG-2. Proporciona sus servicios en más de 35 países y está previsto su funcionamiento en muchos países durante los próximos años, ya que es un estándar maduro y flexible. (AHMAD, 2009)

2.1.2.1 Transmisor DVB-T (Radiodifusión de Video Digital para Televisión)

En la siguiente Figura 2.3, se observa el diagrama de bloques general de un transmisor del estándar DVB-T (Radiodifusión de Video Digital para Televisión).

Figura 2.3. Bloques de un transmisor DVB-T

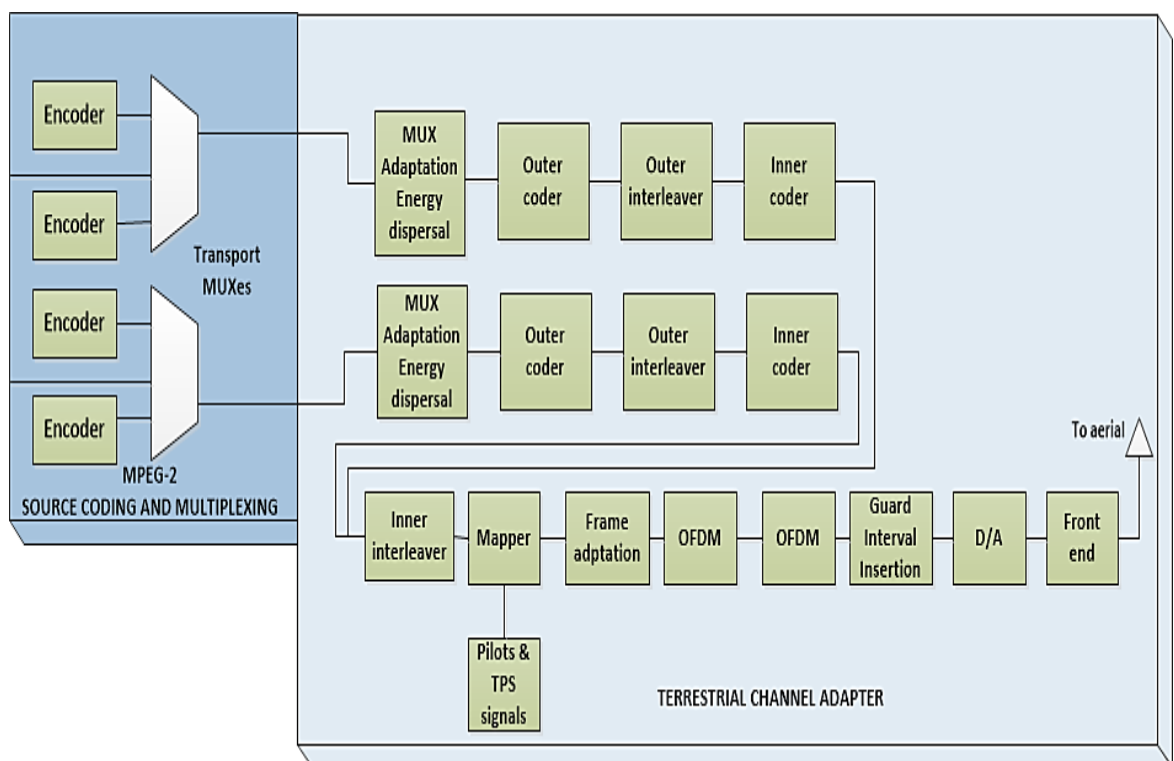


Diagrama de bloques general de un sistema de transmisión DVB-T, (FUENTES, 2011)

Los bloques de este estándar son semejantes a los del estándar ISDB-T anteriormente explicado, por lo que su explicación no será muy extensa. El transmisor de DVB-T consta de las siguientes etapas: dispersión de energía y adaptación del multiplex de transporte, outer coder, outer interleaver (entrelazado en frecuencia de bytes), inner coder, inner interleaver (entrelazado en frecuencia de símbolos y bits), mapping, frame adaptación, inserción de pilotos, modulación OFDM, intervalo de guarda, conversión digital/analógica.

En la etapa de outer coder se agrega bits de paridad utilizando la codificación Reed-Solomon, creando 204 bytes por cada 188 bytes. La etapa de inner coder contiene el codificador convolucional, es en donde se utiliza tasa de codificación (code rate) apropiada. El mapping convierte los bits a símbolos complejos empleando la modulación requerida. Frame adaptation organiza en frames la señal que está siendo transmitida. Inserción de pilotos agrega las siguientes señalizaciones para ultimar el frame: scattered pilots, continual pilots, TPS carriers. (FUENTES, 2011)

2.1.2.2 Receptor DVB-T (Radiodifusión de Video Digital para Televisión)

Recibir en un móvil la señal DVB-T es viable, aunque las limitaciones las hemos apuntado antes: calidad de la señal y consumo energético. Para poder ver bien la televisión en un móvil con TDT tendremos que encontrarnos en un lugar con buena cobertura y, casi siempre, detenidos, sin estar en movimiento.

Luego de transmitir la señal y atravesar el canal por el trayecto multicamino, esta ingresa a los distintos bloques del receptor. Cada uno de estos bloques ejecuta el proceso inverso al realizado en el transmisor.

Será posible recuperar los transport streams enviados solo si el nivel de señal es lo adecuadamente aceptable. En la siguiente Figura 2.4, se observa el diagrama de bloques general de un receptor del estándar DVB-T.

Figura 2.4. Bloques de un receptor DVB-T

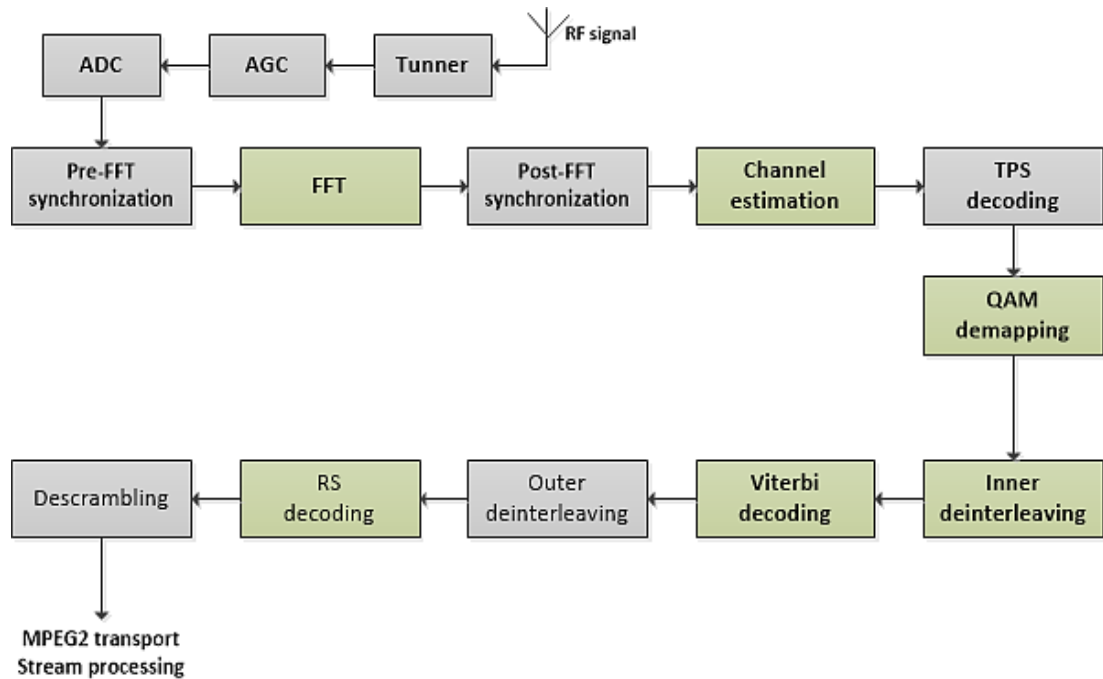


Diagrama de bloques general de un sistema de recepción DVB-T, (FUENTES, 2011)

El receptor de DVB-T consta de las siguientes etapas: búsqueda del canal y conversión analógica/digital, FFT, estimación de canal, decodificación TPS, demapping, inner, Viterbi decoding, outer deinterleaver, outer decoder, descrambling.

La etapa de FFT es la encargada de convertir la señal de dominio de tiempo a frecuencia para obtener información de las subportadoras. Estando en la etapa de estimación de canal se evalúa el respectivo canal por el cual paso la señal y la corrige. Decodificación TPS a partir del code rate, intervalo de guarda utilizando la señalización se obtiene solo las subportadoras que contienen información. Demapping parte de los símbolos para obtener los bits empleando la modulación requerida. Viterbi decoding es el encargado de suprimir la redundancia causada por code rate. Outer decoder cuya función es la de descartar los bits de paridad.

En la etapa de descrambling se elimina la dispersión de energía y adquiere los distintos transport streams. (FUENTES, 2011)

2.2 Modulación CC-OFDM

El sistema de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) se transformó en una herramienta muy utilizada en la tecnología actual. De igual manera que otros sistemas de comunicación, el sistema OFDM requiere usar la codificación de canal para disminuir la tasa de error binario (BER), como el CC-OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales mediante Codificación por Convolución). (HASSIB, 2012)

En la siguiente Figura 2.5, se observa el diagrama de bloques de la modulación CC-OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales mediante Codificación por Convolución).

Figura 2.5. OFDM con el código de convolución

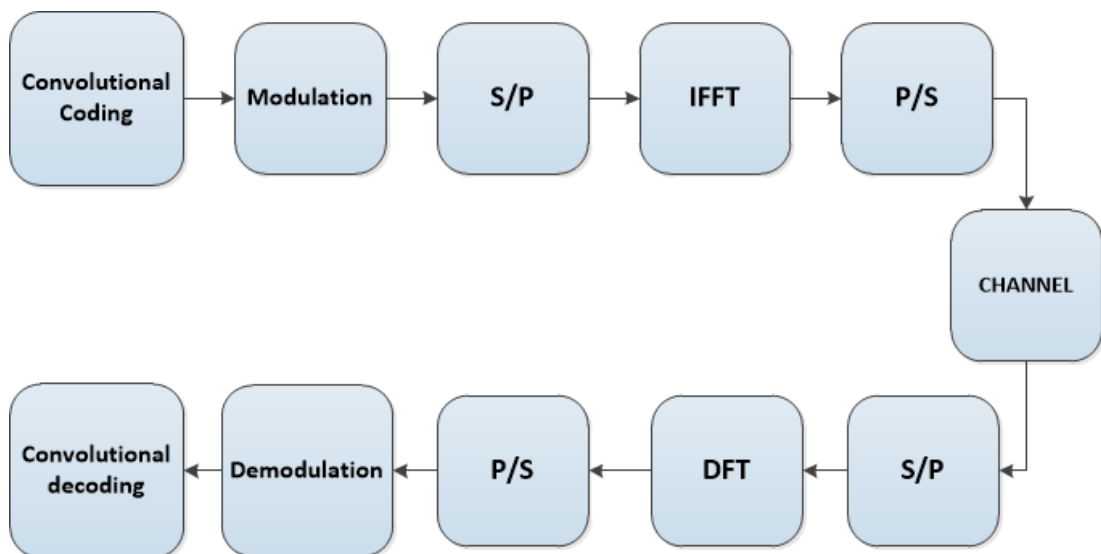


Diagrama de bloques de CC-OFDM, (SHUBHANGI, 2014)

En el diagrama de bloques de la Figura 2.5, contiene los siguientes bloques como son: código de convolución el cual es un tipo de código de corrección de errores, modulación, serial a paralelo (S/P), transformada rápida de inversa Fourier (IFFT), paralelo a serial (P/S), canal (por el cual se transmite los datos), transformada discreta de Fourier (DFT), demodulación y finalmente la decodificación de convolución. (SHUBHANGI, 2014)

CAPÍTULO 3

SIMULACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DVB-T E ISDB-T EN SIMULINK UTILIZANDO MODULACIÓN OFDM Y CC-OFDM

En este capítulo se describen los diagramas de bloques de los diferentes estándares de televisión digital como son DVB-T e ISDB-T.

Para la simulación de los respectivos estándares de televisión digital (DVB-T E ISDB-T), así como las modulaciones OFDM y CC-OFDM nos respaldamos con el software Matlab versión 1.0.0.1 (R2017a) aplicando el simulador Simulink.

3.1 Modelo DVB-T (Radiodifusión de Video Digital para Televisión)

El simulador Simulink es un medio de codificación mediante el uso de bloques. Es muy importante para el estudio de sistemas lineal y no lineales. Su flexibilidad logra realizar simulaciones de sistemas de ingeniería electrónica principalmente para el procesamiento digital de señales (DSP). (CANTOS & TAPUY, 2015)

Figura 3.1. Diagrama de bloques general del sistema de comunicación a simular

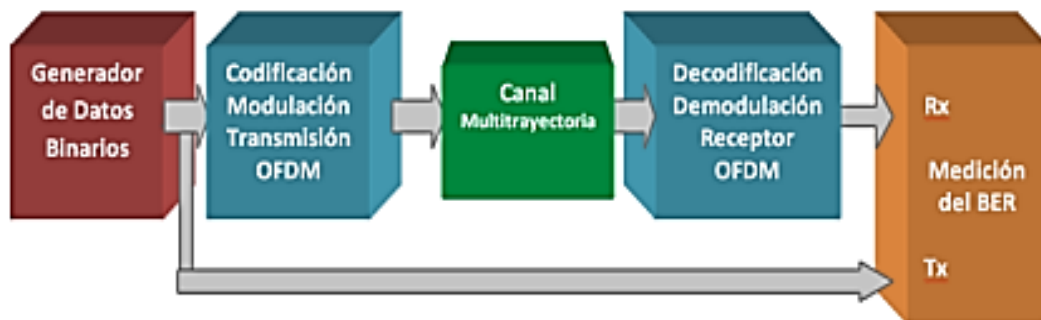


Diagrama de bloques general de un sistema de comunicaciones digital para estándar ISDB-T, (CANTOS & TAPUY, 2015)

Como se puede apreciar en la Figura 3.1, este sistema de comunicación que se va a tratar tiene varias etapas o fases las cuales comienzan con el generador de datos binario, codificación modulación transmisión OFDM, canal multitrayectoria, decodificación, demodulador receptor OFDM y medición del BER.

Para poder realizar el diagrama de bloques del estándar DVB-T es necesario conocer los valores de las portadoras que están predeterminadas por el estándar, como se muestra en el siguiente documento: parámetros y valores configurables del estándar DVB-T. (DELGADO, 2010, pág. 12)

Para poder normalizar las respectivas modulaciones es necesario conocer la expresión $Z = (I + jQ)$, que representa los niveles de una señal transmitida, dicha expresión contiene cada uno de los ejes “I” y “Q” que indica que una vez las capas jerárquicas son combinadas estas deben ser entrelazadas en tiempo en unidad de símbolo modulado, es decir que “I” es la longitud del entrelazado de tiempo para cada capa jerárquica, mientras que “j” debe ser la dirección del símbolo en el segmento OFDM, sumando los ejes y multiplicando “j” con un eje se obtiene la normalización de la modulación que será la potencia promedio de símbolo OFDM convertida en 1, independientemente del esquema de modulación. Todo esto se detalla en el siguiente documento: Niveles de Modulación Normalizados. (ARGUELLOS, 2010, pág. 66)

3.1.1 Diagrama de bloques de transmisión y recepción del estándar DVB-T aplicando modulación OFDM

A continuación, se observa en la Figura 3.2, los bloques de transmisión y recepción para el estándar DVB-T elaborado en Simulink de Matlab.

3.1.2 Bloques de Simulink para DVB-T aplicando modulación OFDM

En el siguiente apartado se analizan los principales bloques de Simulink utilizados en la simulación para una modulación OFDM.

3.1.2.1 Generador de imagen

El bloque “Signal From Worskpace” es el encargado de importar datos desde el workspace de Matlab, para este caso se toman datos de una imagen RGB cuya dimensión es [169x199] pixeles. El parámetro “Sample per Frame” es 188, para este estándar. (CALDERÓN, 2007)

3.1.2.2 Codificador Reed Solomon

El bloque “Integer Input RS” agrega un código conforme indica el algoritmo Reed Solomon, emplea un código de la forma $k/n=188/204$.

3.1.2.3 Convertidor de enteros a bits

En este bloque se agrega un valor de 8, para obtener un valor en bits de 1632 en su salida.

3.1.2.4 Entrelazador interno

En este subsistema los bits son separados para facilitar la tarea de corregirlos, puesto que los errores son generados a ráfagas y si son ordenados los errores se dispersan para ser corregidos.

3.1.2.5 Modulador 64-QAM

El bloque “General QAM Modulator”, se encarga de modular la señal transmitida empleando la técnica de modulación por amplitud en cuadratura, en la cual se le aplicará una modulación con dimensión de constelación de 64-QAM, con una frecuencia de 55 ~ 890 MHz configurable. (CALDERÓN, 2007)

3.1.2.6 Modulación OFDM

En el bloque “OFDM Modulator” se efectúa la modulación OFDM. Es necesario aumentar el tamaño del vector a 2048, ya que contiene los datos, portadoras TPS y pilotos para el modo 2k, este valor representa los canales por símbolo, siendo 8192 para el modo 8k. Esta tarea la realiza completando con ceros en la mitad del vector.

3.1.2.7 Canal AWGN y Multicamino

Para simular la transmisión por un canal multicamino se emplea un subsistema que altera, distorsiona y retrasa la señal, así como también un bloque “AWGN Channel” que ingresa ruido blanco gaussiano aditivo.

Esta simulación está basada en los tipos de canales SUI (Stanford University Interim), dicha universidad aplicó estos modelos de canales inalámbricos a una línea de tres caminos (taps) que indican la señal original, la distorsión y retraso. Estos canales se basan en tres tipos de terreno que son los siguientes:

Terreno A: medio rural, es el medio más agresivo y corresponde a un entorno montañoso con una vegetación moderada. Terreno B: medio suburbano, es un medio intermedio entre el terreno A y C. Terreno C: medio urbano, es el medio menos agresivo y corresponde a un entorno plano con poca vegetación. (CORRAL, 2016)

Los parámetros de los canales SUI utilizados en esta simulación tienen línea de vista y se pueden ver en la siguiente tabla.

Tabla 3.1. Canales SUI-1 y SUI-6

	SUI - 1			SUI - 6		
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Tap 1	Tap 2	Tap 3
Delay [us]	0	14	20	0	4	9
Ganancia [dB]	0	0.1	0.398	0	0.0316	0.01
Terreno	Tipo A			Tipo C		

Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

3.1.2.8 Demodulador OFDM

Este bloque se encarga de realizar el proceso inverso de la modulación OFDM, en el cual se tendrá una señal de entrada de 2048 tal como se indicó para el modo 2k. La señal de salida tendrá que ser 1704 que representa el número de portadoras totales en la simulación.

3.1.2.9 Demodulación de portadora

En este subsistema se encuentra el demapping, está formado por un bloque “Bit to Integer Converter”, al cual se le debe colocar un valor de 6 para que la demodulación sea 64-QAM realizada por el bloque “Rectangular QAM Demodulator Baseband”, con una frecuencia de 55 ~ 890 MHz configurable.

Por último, para normalizar la demodulación se crea un subsistema el cual realiza un producto entre la señal de entrada y una constante que tendrá como valor la expresión $1/\sqrt{42}$. (ARGUELLOS, 2010)

3.1.2.10 Desentrelazado de tiempo y frecuencia

En este subsistema se encuentra el bloque “Symbol Deinterleaver”, el cual hará el proceso de desentrelazar los símbolos que fueron ingresados para posteriormente ingresar a un buffer que almacena 756 bits, que son necesarios para poder realizar dicho desentrelazado, ya que este proceso se lo realiza por bloques.

Posteriormente ingresan a un “General Block Deinterleaver”, que realiza el desentrelazado de los 756 bits antes ingresados en el buffer. Por último, en un buffer se almacenan 1632 bits.

3.1.2.11 Convertidor de bits a enteros

Este bloque convierte los bits que ingresan a números enteros para que la señal pueda ser decodificada.

3.1.2.12 Decodificador Reed Solomon

El bloque “Integer Output RS Decoder” extrae el código de la señal de entrada para decodificarlo y se agrega un código de la forma $k/n=188/204$.

3.1.2.13 Presentación de la imagen transmitida

El bloque “To Workspace” tiene como finalidad mostrar los resultados finales de la simulación, enviando la señal transmitida al workspace de Matlab.

El parámetro “Save Format” debe ser “Array”, para que sea reconocida por el workspace.

3.1.2.14 Cálculo de errores

El bloque “Error Rate Calculation” opera con la señal que ha pasado por todo el sistema de transmisión y recepción OFDM y con la señal original, presentando una comparación entre las dos señales por medio de la tasa de error de bit. Es necesario tener en cuenta que puede existir un retardo de tiempo entre ambas señales. (CASTRO, 2012)

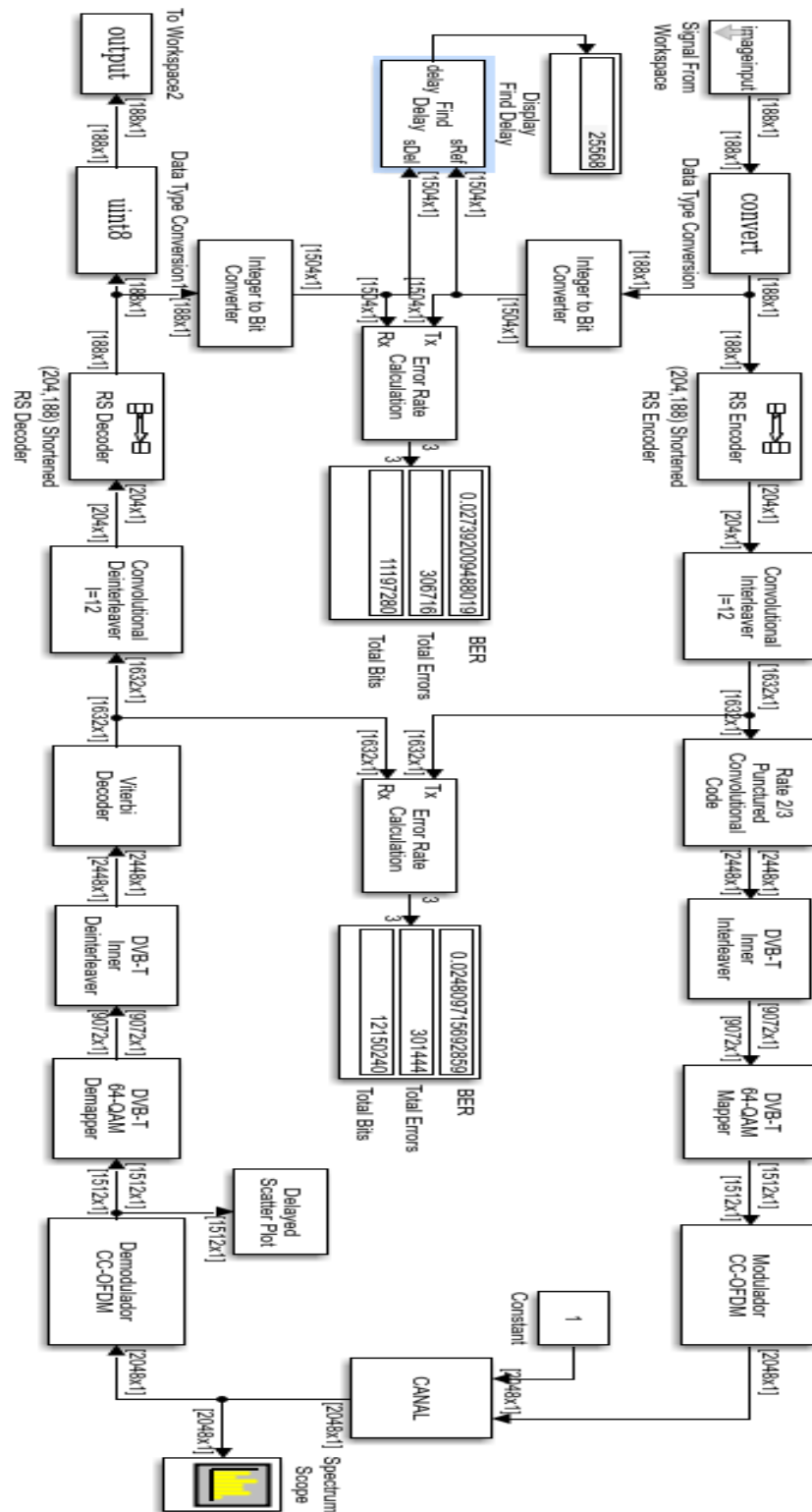
3.1.2.15 Cálculo de retardo

El bloque “Find Delay” encuentra el retardo que existe entre una señal transmitida y recibida para encontrar la tasa de error de bit, pero omite el retardo de la señal recibida. (MathWorks, 2015)

3.1.3 Diagrama de bloques de transmisión y recepción del estándar DVB-T aplicando modulación CC-OFDM

En la Figura 3.3, se observa los bloques de transmisión y recepción para el estándar DVB-T elaborado en Simulink de Matlab.

Figura 3.3. Diagrama de bloques para el estándar DVB-T con modulación CC-OFDM elaborado en Simulink de Matlab



Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

3.1.4 Bloques de Simulink empleados en la simulación del estándar DVB-T aplicando modulación CC-OFDM

En el siguiente apartado se analizan los principales bloques de Simulink utilizados en la simulación para una modulación CC-OFDM.

Para que sea una modulación CC-OFDM es necesario adicionar subsistemas como lo es el entrelazador/desentrelazador convolucional, codificador convolucional y el bloque “Viterbi decoder”.

3.1.4.1 Entrelazador convolucional

El bloque “Convolutional Interleaver” es utilizado en el estándar DVB ya que tiene un diseño convolucional porque utiliza 12 unidades de retardo y 17 símbolos con el fin de mejorar la recuperación contra errores. (TARRÉS & CABRERA, 2012)

3.1.4.2 Codificador convolucional

El bloque “Convolutional Encoder” es un excelente corrector de errores en el cual es posible escoger varias opciones de tasa de codificación, entre las cuales se tiene: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8.

Para esta simulación se escogió una tasa de codificación de 2/3 cuyo vector de punzonado definido por el estándar es [1 1 0 1]’.

Además, se debe configurar el parámetro “Trellis Structure” en el cual se debe ingresar la función poly2trellis (7, [171 133]) para poder aplicar en la recepción el decodificador Viterbi.

3.1.4.3 Decodificador Viterbi

Este bloque extrae el código convolucional realizando la respectiva corrección de errores aplicando el algoritmo de Viterbi. Este algoritmo trata de encontrar el camino

que contenga la menor cantidad de errores posibles. (ARNONE, GAYOSO, & GONZÁLEZ, 2012)

3.1.4.4 Desentrelazador convolucional

Recupera o restaura el orden de los símbolos de una señal que fue entrelazada aplicando registros de desplazamiento. Se configura una cantidad de registros de desplazamiento en este caso es 12 así como también el registro de pasos de longitud 17 para posteriormente decodificar con el bloque “RS Decoder”.

3.2 Modelo ISDB-T

Hay que tener en cuenta los parámetros como son: el modo de operación del sistema, el factor convolucional o code rate, esquema de modulación y frecuencia en el modelo de ISDB-T ya que al seleccionarlos se definirá completamente el proceso que tendrá el sistema como se observa en el documento: parámetros y valores configurables del estándar ISDB-Tb. (CANTOS & TAPUY, 2015, pág. 14)

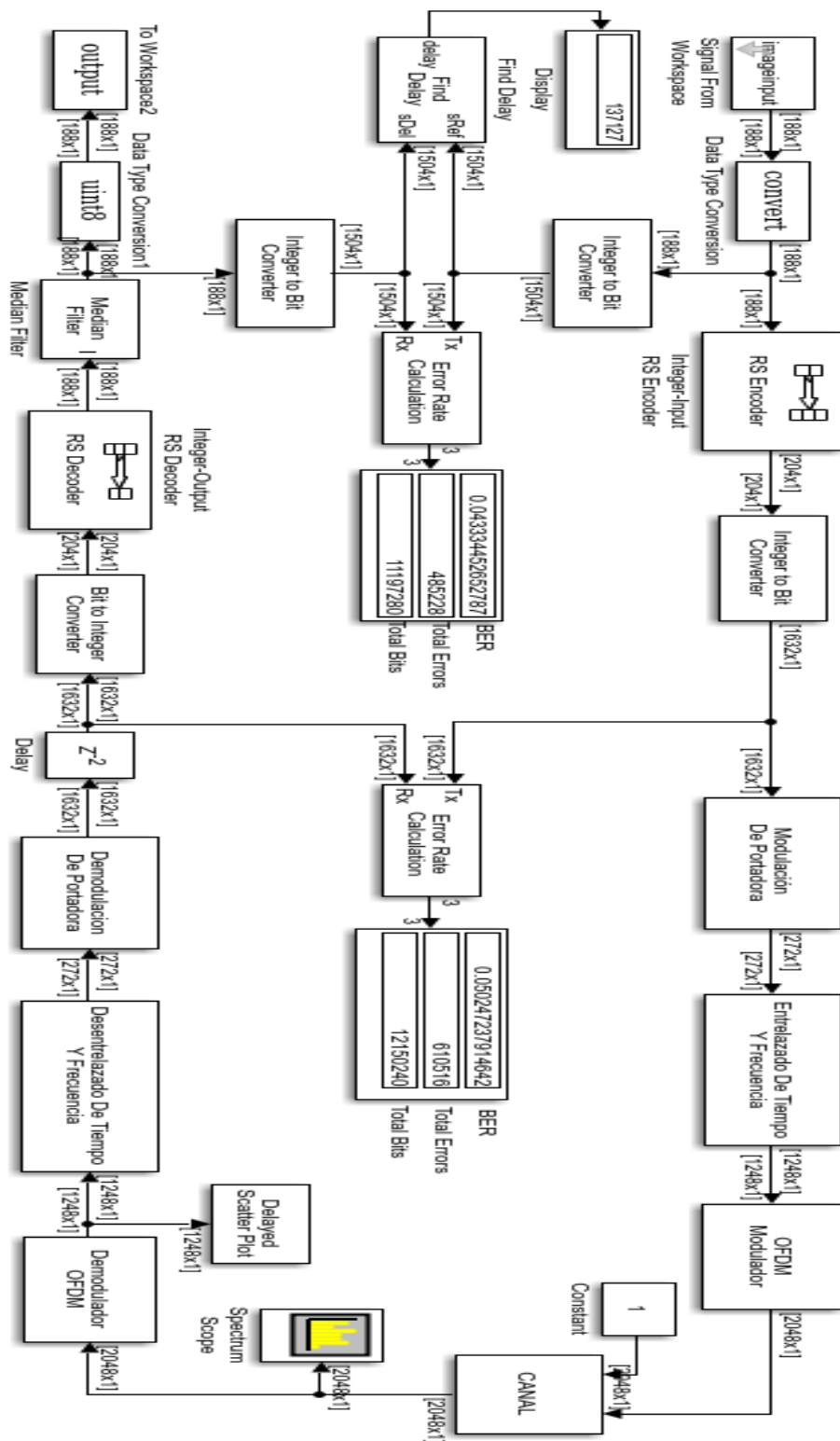
Es importante conocer que ISDB también precisa conexiones de datos (transmisión de datos) con internet como un canal de regreso para varios medios y con diferentes protocolos. Esto se usa, por ejemplo, para interfaces de intercambio como la transferencia de datos y pautas electrónicas de programas de TV.

ARIB (Asociación de Industrias y Negocios de Radiodifusión) es la entidad encargada de crear y mantener el ISDB-T, reúne a una multitud de empresas japonesas y extranjeras para producir, financiar, fabricar, importar y exportar bienes de consumo afines de la radiodifusión.

3.2.1 Diagrama de bloques de transmisión y recepción del estándar ISDB-T aplicando modulación OFDM

A continuación, se observa en la Figura 3.4, el bloque de transmisión y recepción para el estándar ISDB-T elaborado en Simulink de Matlab.

Figura 3.4. Diagrama de bloques para el estándar ISDB-T con modulación OFDM
elaborado en Simulink de Matlab



Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

3.2.2 Bloques de Simulink para ISDB-T aplicando modulación OFDM

El estándar ISDB-T también emplea el sistema de modulación OFDM al igual que el estándar DVB-T, pero con distintas características y ligeros cambios.

3.2.2.1 Generador de imagen

El bloque “Signal From Workspace” es el encargado de importar los datos de la imagen desde el workspace de Matlab.

3.2.2.2 Codificador Reed Solomon

Tal como se indicó en el estándar DVB-T este bloque realiza un proceso de corrección de errores basado en bloques, permitiendo procesar por bloques de una cierta cantidad de símbolos de datos. Para este caso emplea un código de la forma $k/n=188/204$. (ESPITIA, 2012)

3.2.2.3 Convertidor de enteros a bits

En este bloque se establece un valor de 8, para obtener un total 1632 bits.

3.2.2.4 Modulación de Portadora

En este proceso a diferencia del estándar DVB-T es necesario colocar un bloque llamado “Matriz Interleaver” que hará el proceso de entrelazado de bits. Para posteriormente realizar el mapping que consta de dos bloques, un “Bit to Integer Converter” y un “Rectangular QAM Modulator”, en cuyo caso para tener una modulación 64-QAM es necesario colocar el valor de 6 el conversor de bits a enteros, así como también ingresar el valor de 64 en el modulador QAM.

3.2.2.5 Entrelazado de tiempo y frecuencia

Este subsistema consta de un “Buffer”, en donde se ingresan el número de filas y columnas indicados por el estándar (96x204), realizan una conversión serial a paralelo.

El bloque “Matrix Interleaver” contiene las filas y columnas antes mencionadas para poder transmitir correctamente los datos. Finalmente se tiene un segundo buffer que almacena los 1248 datos que pertenecen al estándar.

3.2.2.6 Modulación OFDM

Este bloque realiza la modulación OFDM en el cual se coloca el número total de portadoras (2048), además es necesario ingresar en el parámetro “Number of Guards Bands” el valor de [400; 400], que permitirá obtener las 1248 portadoras de datos almacenados anteriormente.

3.2.2.7 Canal AWGN y Multicamino

En este subsistema se implementó una línea de tres taps que indica el proceso del efecto multicamino denominados canales SUI, además un bloque “AWGN Channel” que ingresa ruido blanco gaussiano aditivo.

3.2.2.8 Demodulador OFDM

Este bloque realiza el proceso inverso de la modulación OFDM, siendo el número total de portadoras 2048, el parámetro “Number of Guards Bands” es [400; 400], obteniendo 1248 portadoras de datos en la salida.

3.2.2.9 Desentrelazado de tiempo y frecuencia

Para poder demodular se realiza un proceso inverso en el cual se debe obtener a la salida un vector de [272x1] que debe ser igual a lo indicado en el proceso de transmisión y pasar a la siguiente etapa.

3.2.2.10 Demodulación de portadora

En este subsistema se realiza el desentrelazado de bits con el bloque “Matrix Deinterleaver” para posteriormente demodular a 64-QAM con el bloque “Rectangular QAM Demodulator”.

3.2.2.11 Convertidor de bits a enteros

Este bloque convierte los 1632 bits ingresados en el “Matrix Deinterleaver” a 204 enteros que se necesita en el siguiente bloque.

3.2.2.12 Decodificador Reed Solomon

Este decodificador recupera un vector con mensaje binario, los parámetros deben concordar con los valores de la entrada del codificador Reed Solomon, para obtener los mismos enviados.

Un decodificador Reed Solomon puede corregir hasta t símbolos que contienen errores en una palabra de código, donde $2t = (n-k)$, en donde n es la longitud del codeword (en símbolos) y k es la longitud del mensaje (en símbolos).

3.2.2.13 Filtro Mediano

El bloque “Median Filter” realiza una mediana de filtrado en los datos que ingresan a lo largo del tiempo. Este bloque se utilizó para disminuir el efecto de sal y pimienta que existe en el canal.

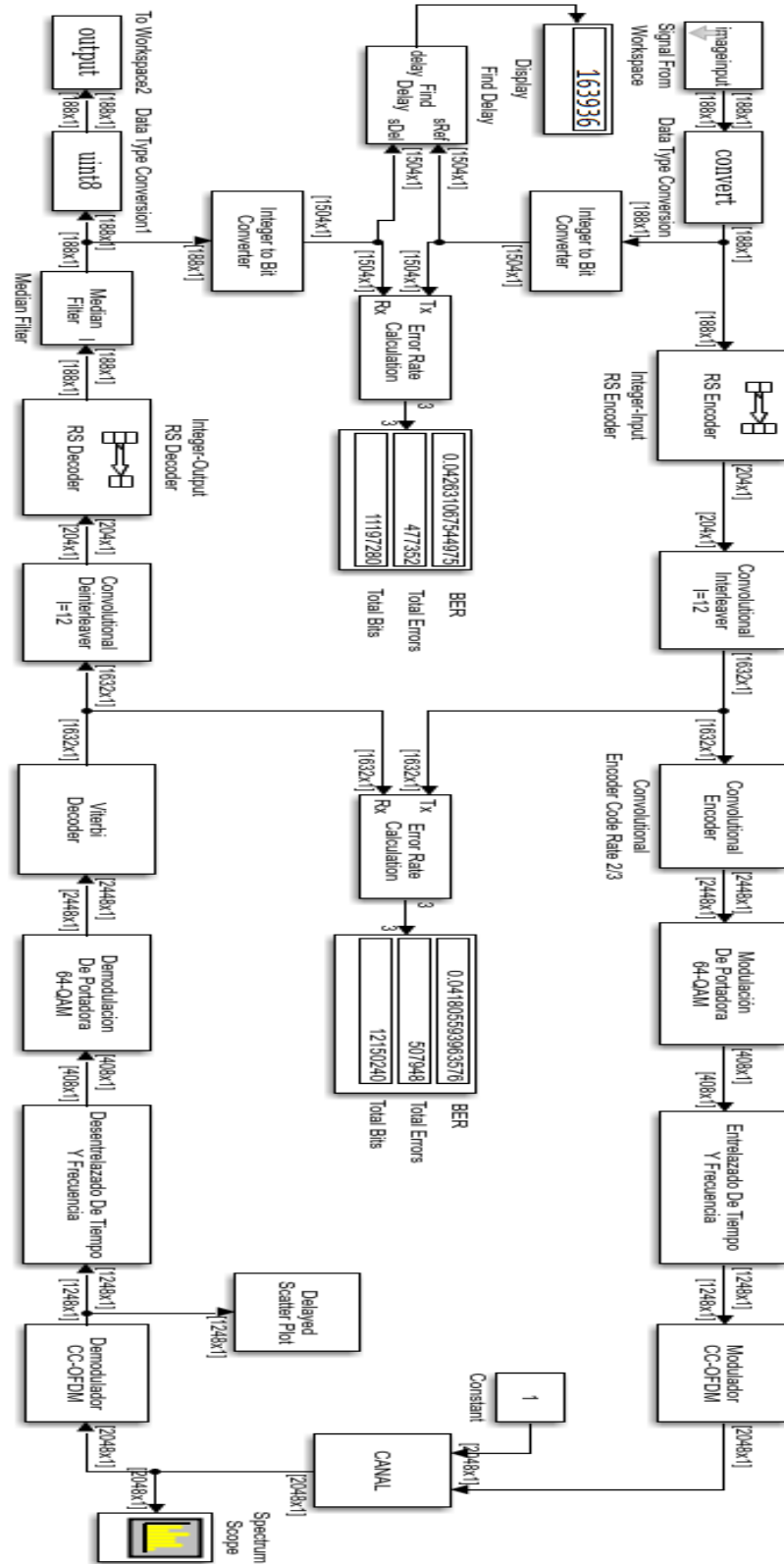
3.2.2.14 Presentación de la imagen transmitida

El bloque “To Workspace” tiene como finalidad enviar la señal transmitida al workspace de Matlab.

3.2.3 Diagrama de bloques de transmisión y recepción del estándar ISDB-T aplicando modulación CC-OFDM

A continuación, se observa en la Figura 3.5 el bloque de transmisión y recepción para el estándar ISDB-T elaborado en Simulink de Matlab.

Figura 3.5. Diagrama de bloques para el estándar ISDB-T con modulación CC-OFDM elaborado en Simulink de Matlab



Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

3.2.4 Bloques de Simulink para ISDB-T aplicando modulación CC-OFDM

En el siguiente apartado se analizan los principales bloques de Simulink utilizados en la simulación para una modulación CC-OFDM.

Al igual que en DVB-T se aplica un entrelazado/desentrelazado de bits para la corrección de errores. Además, se agrega un codificador convolucional y su inverso un decodificador Viterbi para obtener una menor tasa de errores.

3.2.4.1 Entrelazador convolucional

Este bloque “Convolutional Interleaver” ejecuta un entrelazado convolucional de bytes para mejorar el desempeño contra errores.

3.2.4.2 Codificador convolucional

A este bloque se aplicó un vector de punzonado eligiendo una tasa de codificación de $2/3$ con una extensión de 7 bits de convolución, los polinomios causantes de esta convolución vienen dados por $G_1 = 171_{\text{OCT}}$ y un $G_2 = 133_{\text{OCT}}$. (TARRÉS & CABRERA, 2012)

3.2.4.3 Decodificador Viterbi

Este bloque “Viterbi Decoder” es utilizado para decodificar la señal que fue codificada por el codificador convolucional, empleando el algoritmo Viterbi. Este decodificador utiliza las características del trellis de código convolucional, este algoritmo Viterbi reduce la complicación de los cálculos evitando tomar en cuenta todas las secuencias posibles. (ARNONE, GAYOSO, & GONZÁLEZ, 2012)

3.2.4.4 Desentrelazador convolucional

Reordena los símbolos de una señal que fue entrelazada empleando registros de desplazamiento cada uno con retraso fijo.

3.3 Interfaz de usuario para la simulación de los estándares DVB-T e ISDB-T

Para la interfaz de usuario se colocaron varios "Push Button" que realizan las diferentes funciones como son las de enviar los datos de la imagen, simular los estándares, sus respectivas modulaciones para OFDM y CC-OFDM, además de recibir los resultados de la imagen transmitida. También se colocó un "Edit Text" en el cual el usuario podrá escoger entre tres canales diferentes como lo son: la señal original, señal por efecto multicamino para un terreno tipo A y una señal por efecto multicamino para terreno tipo C, siendo el A el tipo de terreno más agresivo y el C el terreno más suave.

Se escogió estos canales para poder observar las diferencias que existen entre una señal original y una señal aplicando efecto multicamino en los diferentes estándares de TDT estudiados.

Se puede observar en la siguiente figura 3.6 la interfaz de usuario implementada en este proyecto.

Figura 3.6. Interfaz de usuario para controlar la simulación



Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Es importante tomar en cuenta que para la implementación de esta interfaz de usuario se utilizó un código para el proceso y envío de la imagen, el cual se puede observar en el Anexo 1.

También se utilizó un código para la obtención de los resultados después de que la imagen haya sido transmitida, esto se puede observar en el Anexo 2.

Para poder ocupar las variables programadas en el workspace de Matlab utilizando esta interfaz de usuario es necesario colocar el comando `assignin('base','c',c)`, después de asignar un valor a cualquier variable dentro de la programación, con esto se pueden exportar las variables del workspace hacia el Simulink y así transmitir la imagen.

Para poder obtener las variables de la imagen ya procesadas se debe colocar el siguiente comando `b=evalin('base','b')`, antes de asignar un valor a cualquier variable dentro de la programación ya que los datos provienen del Simulink. Para que la interfaz de usuario pueda controlar el Simulink de Matlab es importante colocar el código respectivo que se lo puede apreciar en el Anexo 3.

La interfaz de usuario es muy importante ya que desde este entorno se podrá controlar toda la simulación de los diferentes estándares de TDT estudiados.

La interfaz gráfica de usuario, conocida también como GUI (Graphical User Interface), que actúa de interfaz de usuario, usando un conjunto de imágenes y objetos gráficos para simbolizar la información y acciones disponibles en la interfaz. Su principal uso, radica en proporcionar un entorno visual básico para permitir la comunicación con el sistema operativo de una máquina o computador.

Normalmente las acciones se realizan mediante manejo directo, para facilitar la interacción del usuario con el ordenador. Surge como avance de las interfaces de línea de comandos que se usaban para operar los primeros sistemas operantes y es pieza fundamental en un medio gráfico.

CAPITULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se especifica las pruebas y resultados que fueron obtenidos a partir de las diferentes simulaciones con sus respectivas modulaciones OFDM y CC-OFDM obteniendo los respectivos parámetros como: el BER, delay y número de portadoras, así como también el efecto que existe al insertar canales SUI al variar la relación señal a ruido generando el espectro y sus diagramas de constelaciones para cada canal.

4.1 Resultados de los parámetros al transmitir una Imagen RGB como señal de entrada

Se inicia mostrando los resultados del BER para los diferentes estándares TDT y sus respectivas modulaciones con una señal a ruido de 19 [dB], ya que este valor permitirá obtener el verdadero resultado en la transmisión de la imagen OneSeg ya que cuenta con una resolución máxima de [320x240] pixeles y la imagen transmitida es de [166x199] pixeles. El valor de SNR se tomó del escrito, Simulación del Estándar de televisión digital ISDB-Tb basado en un esquema de modulación/demodulación OFDM implementado en Simulink de Matlab. (CANTOS & TAPUY, 2015)

Los resultados se pueden apreciar en la siguiente Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Resultados del Bit Error Rate

Estándares	ISDB-T (BER)		DVB-T (BER)	
	OFDM	CC-OFDM	OFDM	CC-OFDM
19	0,04333	0.04263	0,03415	0,02739

Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Para poder calcular el retardo (delay) de recepción se usó el bloque “Find Delay” el cual nos indica la demora en la ruta de los datos entrelazados, para que este bloque establezca el valor correcto en el “Display” de la simulación se debe colocar un valor lo suficientemente grande en comparación al tamaño de la imagen, el valor que nos

proporciona este bloque está en muestras cuyo resultado son los bits transmitidos con su respectivo retraso.

Los resultados se pueden apreciar en la siguiente Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Resultados del bloque Find Delay

Estándares	ISDB-T		DVB-T	
Modulaciones	OFDM	CC-OFDM	OFDM	CC-OFDM
Muestras (Bits)	137127	163936	10568	25568

Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

La siguiente ecuación indica como calcular el delay (D) o retardo correcto.

$$D = \frac{\text{Total de bits (Find Delay)}[Bits]}{\text{Velocidad de transmisión(DVB - T e ISDB - T)}[Mbps]} \quad Ec. (4.1)$$

La ecuación 4.1 se tomó del escrito, retardo en conmutación de paquetes. (MALGOSA, MANZANARES, & MUÑOZ, 2013)

Los valores de velocidad de transmisión para los estándares DVB-T e ISDB-T se expresan en la siguiente Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Velocidad de transmisión de estándares TDT

Estándares	ISDB-T	DVB-T
Velocidad de transmisión	19,6 Mbps	23,7 Mbps

Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Aplicando la ecuación 4.1, para cada una de las modulaciones respectivas de los estándares de TDT estudiados se obtiene la siguiente Tabla 4.4, que indica el valor del delay correspondiente en segundos.

Tabla 4.4. Resultados del delay

Estándares	ISDB-T		DVB-T	
Modulaciones	OFDM	CC-OFDM	OFDM	CC-OFDM
Delay	6,9963 [ms]	8,3640 [ms]	0,4459 [ms]	1,0788 [ms]

Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Los números de portadoras para el estándar ISDB-T y DVB-T vienen establecidos según el modo de operación en cual se esté trabajando. Se puede apreciar su valor en la siguiente Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Número total de portadoras modo 2K

Estándares	ISDB-T		DVB-T	
Número total de portadoras (Datos)	Modo 2K	1248	Modo 2K	1512

Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

4.2 Resultados de las pruebas con una Imagen RGB aplicando trayectoria multicamino

Teniendo como señal de entrada una imagen RGB de tipo OneSeg se obtuvo los diferentes resultados entre BER vs SNR en el cual se consigue resultados distintos debido a la variación que se produce en la relación señal a ruido. Esta variación se la realiza en los dos canales SUI implementados en la simulación con el fin de observar cuál de los estándares tiene mejor comportamiento ante este efecto multicamino.

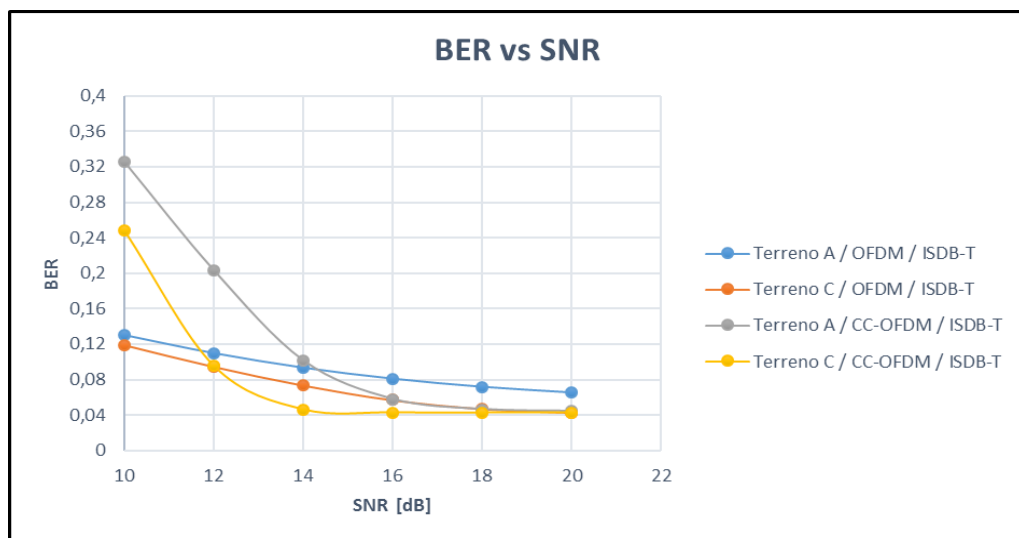
Además, se presentarán las imágenes, espectros y diagramas de constelaciones con la variación del SNR en los terrenos A y C, dichos resultados se pueden observar en el Anexo 4.

Tabla 4.6. Resultados del BER vs SNR [dB] con efecto multicamino.

SNR [dB]	ISDB-T				DVB-T			
	OFDM		CC-OFDM		OFDM		CC-OFDM	
	BER		BER		BER		BER	
	Terreno A	Terreno C	Terreno A	Terreno C	Terreno A	Terreno C	Terreno A	Terreno C
10	0,13040	0,11866	0,32612	0,24866	0,12252	0,11200	0,13156	0,05122
12	0,10997	0,09436	0,20365	0,09556	0,10526	0,09076	0,03568	0,03470
14	0,09357	0,07342	0,10164	0,04618	0,09198	0,07226	0,03038	0,02885
16	0,08112	0,05699	0,05799	0,04277	0,08233	0,05602	0,02742	0,02739
18	0,07194	0,04702	0,04650	0,04263	0,07532	0,04279	0,02739	0,02739
20	0,06546	0,04291	0,04439	0,04263	0,07015	0,03330	0,02739	0,02739

Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

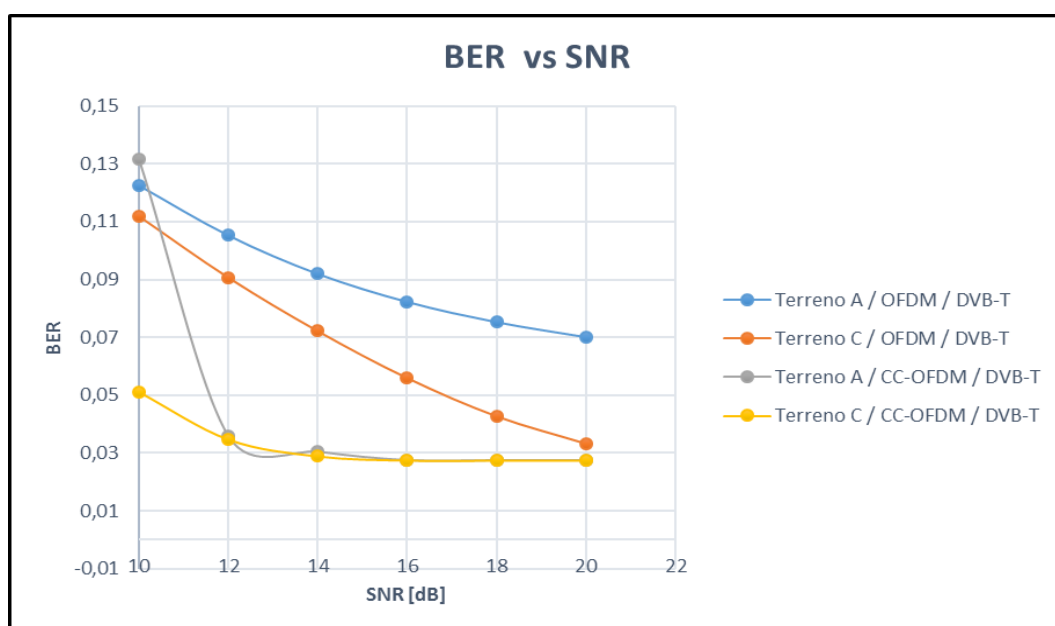
Figura 4.1. BER vs SNR con imagen RGB de señal de entrada aplicando efecto multicamino para el estándar ISDB-T



Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

En la Figura 4.1, se observa que existe un decrecimiento en intervalos menores a 14 [dB], mientras se logra estabilizar en intervalos superiores a este valor debido a que ante la variación de la señal a ruido (SNR) se logra obtener una potencia de transmisión más grande por lo cual existirá menor cantidad de bits erróneos y por ello las curvas tienden a estabilizarse a partir de dicho valor.

Figura 4.2. BER vs SNR con imagen RGB de señal de entrada aplicando efecto multicamino para el estándar DVB-T



Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

En la Figura 4.2, podemos apreciar los resultados pertinentes para el estándar DVB-T, donde se observa que la curva que especifica al terreno A (rural) con modulación OFDM tiene un decrecimiento exponencial ante la variación de la señal a ruido (SNR), para el terreno C (urbano) la tasa de bit erróneo disminuye exponencialmente teniendo una mayor pendiente. En el terreno A con modulación CC-OFDM se observa que existe un decrecimiento exponencial brusco hasta los 12 [dB] para luego mantenerse constante y para el terreno C con la misma modulación se observa que la tasa de bit erróneos disminuye ligeramente y su curva se mantiene constante, esto se debe a que entre mayor sea la potencia de transmisión enviada por variar la señal a ruido (SNR) estas curvas llegan a estabilizarse ya que tienen menor cantidad de bits erróneos.

4.3 Cálculo para obtener la eficiencia en los estándares TDT estudiados

La razón del cálculo de porcentaje de error permite saber que tan preciso es un valor estimado, este nos indica la diferencia que existe entre un valor aproximado y el verdadero.

Para este proyecto se tienen los estándares ISDB-T y DVB-T con modulaciones OFDM Y CC-OFDM diferentes cada uno por tanto se procede a realizar el porcentaje de error que existe en cada uno de ellos.

La siguiente ecuación indica como calcular la eficiencia de la transmisión.

$$\eta\% = \frac{|Total\ de\ bits - Bits\ erróneos|}{|Total\ de\ bits|} \times 100 \quad Ec. (4.2)$$

Aplicando la ecuación 4.2 en las Tabla 4.1, se obtiene la siguiente Tabla 4.7, de cálculo de la eficiencia que existe entre los estándares con sus modulaciones respectivas.

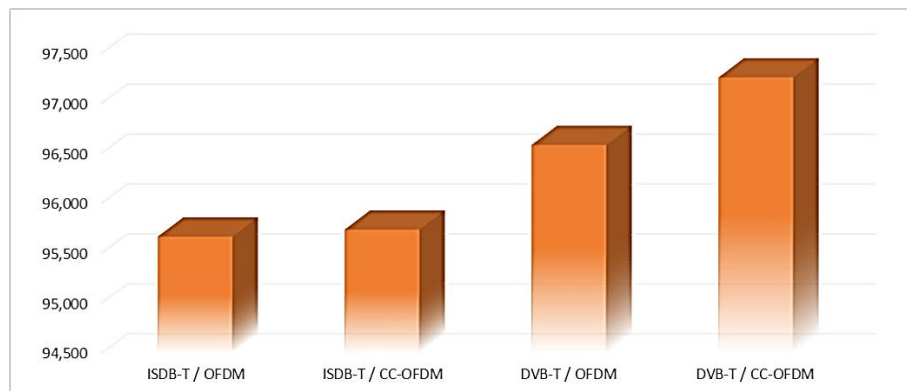
Tabla 4.7. Porcentaje de eficiencia en los estándares ISDB-T y DVB-T con una SNR= 19 [dB]

ESTÁNDARES	ISDB-T		DVB-T	
	OFDM	CC-OFDM	OFDM	CC-OFDM
Eficiencia	95,667	95,737	96,584	97,261

Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Se puede observar los valores calculados en la Figura 4.3, en porcentajes con la finalidad de observar la eficiencia que existe en cada uno de los estándares al realizar la simulación.

Figura 4.3. Eficiencia entre los dos estándares TDT estudiados



Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

4.4 Cálculo de la eficiencia para los estándares TDT estudiados aplicando efecto muticamino.

Para este apartado se realizaron cálculos con una SNR = 16 [dB], Este valor se tomó del escrito de, Simulación de Técnicas de Diversidad y Filtrado Kalman en Redes Inalámbricas, (CORRAL, 2016) ya que este valor permitirá obtener el mejor resultado al aplicar efecto multicamino, en los diferentes estándares tanto para el terreno A como el terreno C, ya que con estos valores de entre el más bajo al más alto se puede determinar cuál es el más eficiente según la simulación realizada para estos dos estándares de TDT.

Para determinar la eficiencia se comparó el total de bits transmitidos en la simulación con el total de bit erróneos que se produjo mediante la transmisión de la imagen OneSeg para cada uno de los estándares DVB-T e ISDB-T con su respectivas modulaciones OFDM Y CC-OFDM en los dos terrenos A y C, todo esto en base a estudios experimentales sacados de revistas y artículos científicos, el cual se basa en observar la cantidad de bits erróneos que se producen en comparación con el total de bit que se envía, además de observar el resultado que nos arroja la imagen en Simulink de Matlab se denota que a mayor cantidad de errores, menor es la calidad de la imagen OneSeg, observe en Anexo 4.

A continuación, se puede observar en la Tabla 4.8, el cálculo de la eficiencia.

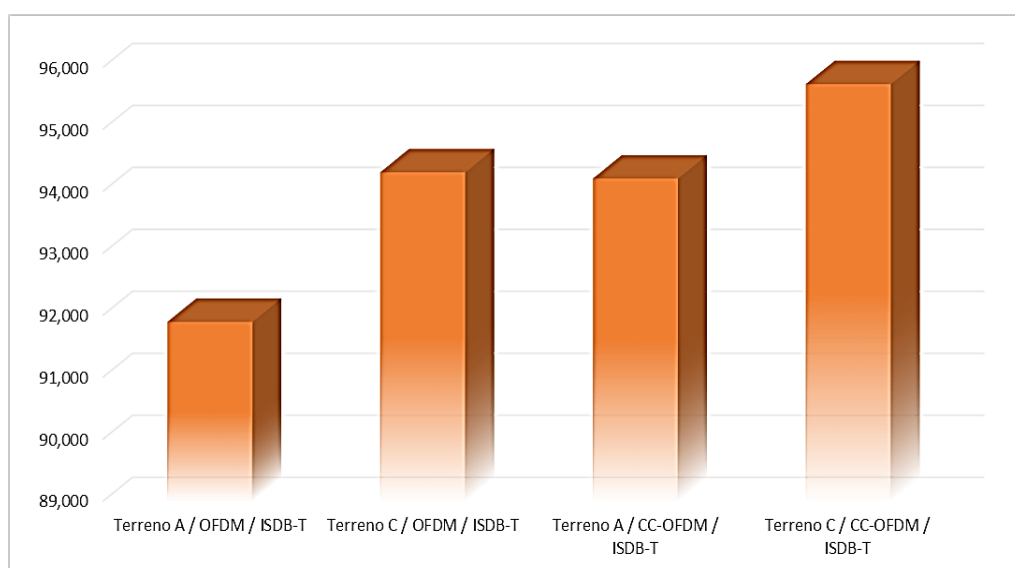
Tabla 4.8. Eficiencia para los estándares ISDB-T y DVB-T con una SNR= 16 [dB] en los valores aproximados

SNR	ISDB-T				DVB-T			
	OFDM		CC-OFDM		OFDM		CC-OFDM	
	Terreno A	Terreno C	Terreno A	Terreno C	Terreno A	Terreno C	Terreno A	Terreno C
16	91,887	94,300	94,201	95,723	91,767	94,397	97,257	97,261

Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

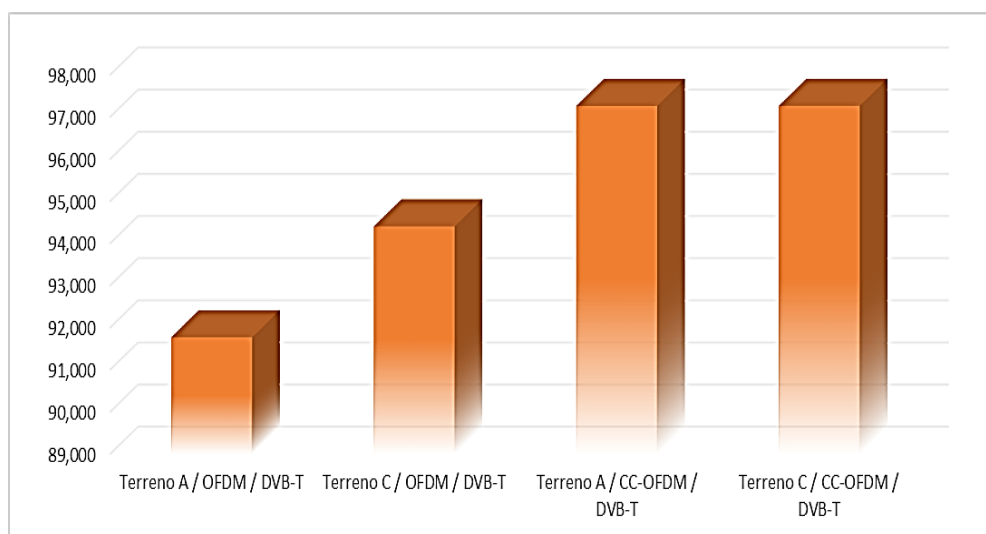
A continuación, se expresan los valores calculados en la Tabla 4.8, en las siguientes figuras observando la eficiencia que existe en cada uno de los terrenos tipo A y C para cada uno de los estándares.

Figura 4.4. Eficiencia para ISDB-T al aplicar multicamino



Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura 4.5. Eficiencia para DVB-T al aplicar multicamino



Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se analizaron las tecnologías de televisión digital terrestre DVB-T e ISDB-T implementando los diagramas de bloques mediante Simulink de Matlab observando el espectro, diagrama de constelaciones y la imagen de entrada y salida. De esta forma se logró entender con mayor precisión el diagrama de bloques del sistema DVB-T e ISDB-T, ya que existían muchas definiciones y conceptos con impericia antes de comenzar el proyecto de grado. Por lo que se obtuvo una buena comprensión de los fenómenos ocurridos durante la simulación para que el trabajo concluyera de la mejor manera.

Se concluyó que el estándar DVB-T es 47,28 % más eficiente que ISDB-T en base al BER obtenido en la simulación para un terreno rural y con una modulación CC-OFDM, tiene un delay de 1,0788 [ms] siendo más confiable, pero con un 58,66% más de retardo que para la modulación OFDM, con banda de frecuencia UHF ya que proporciona mayor inmunidad a las señales transitorias.

Mediante los resultados obtenidos se muestra que el estándar con mayor rendimiento es el estándar DVB-T ya que se adapta de mejor manera a un ambiente urbano y rural, siendo 3,056% más eficiente en base a los bits recibidos sin errores por lo cual es mejor que el estándar ISDB-T, con banda de frecuencia UHF.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda utilizar una modulación SC-OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal de Portadora Única) ya que es una técnica de transmisión alternativa a OFDM convencional debido a que tiene un mejor rendimiento en la recepción de datos.

Aplicando la versión 2 del estándar DVB-T se podría obtener una retransmisión de televisión de mejor calidad, mejorando la tasa de bit errado (BER), puesto que la versión 1 no tiene la suficiente capacidad de ancho de banda para permitir la emisión de canales en alta definición.

Sería interesante simular estos estándares de televisión digital terrestre para transmisiones satelitales.

LISTA DE REFERENCIAS

- AHMAD, O. (2009). Análisis y Simulación De La Capa Física Del Estandar DVB-T2. Madrid: Universidad Carlos III De Madrid.
- ARGUELLOS, J. (2010). Simulación Del Diagrama Funcional De Transmisión Del Sistema ISDB-T, Para El Estudio De Su Estructuración. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- ARNONE, L., GAYOSO, C., & GONZÁLEZ, C. (2012). Diseño De Un Decodificador Viterbi Para Ser Utilizado En Enlaces Infrarrojos. Mar del Plata: Universidad Nacional del Mar del Plata.
- AYALA, S., Gonzáles, J., & Chávez, S. (2013). Análisis de la eficiencia de los estándares de transmisión de televisión digital por satelite en las bandas Ku y Ka. DF: Universidad Nacional Autónoma de México.
- CALDERÓN, P. (2007). Análisis del Desempeño de la Técnica OFDM Sobre Canales Dispersos. Sangolqui: Escuela Politécnica del Ejército.
- CANTOS, L., & TAPUY, S. (2015). Simulación Del Estandar De Televisión Digital ISDB-T Basado En Un Esquema De Modulación/ Demodulación OFDM Implementado En MatLab-Simulink. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- CASTRO, I. (2012). Simulador de un sistema de Transmisión, Recepción ecualización de DVB-T en Simulink.
- CORRAL, P. (2016). Simulación de Técnicas de Diversidad y Filtrado Kalman en Redes Inalámbricas. Elche: Universidad Miguel Hernández de Elche.
- CRC. (2012). Definición de las especificaciones técnicas de la TDT en Colombia. Bogotá.
- DELGADO, A. (2010). Transmisión de señales de TV Digital en el Estándar Terreno DVB-T. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

- DIBEG. (June de 2018). Digital Broadcasting Experts Group. Obtenido de <https://www.dibeg.org/techp/3comp/3comp.html>
- ESPITIA, J. (2012). Codificador Reed Solomon En Software. México DF: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Profesional "Adolfo López Mateos".
- FUENTES, M. (2011). Evaluación de prestaciones (rendimiento e interferencias) del estándar de Televisión Digital Terrestre ISDB-Tb, mediante simulaciones y mediciones. Valencia: Universidad Politecnica De Valencia.
- HASSIB, M. (2012). Improved concatenated (RS-CC) for OFDM system. IEICE Electronics Express, 538-543.
- MALGOSA, J., MANZANARES, P., & MUÑOZ, J. (2013). Retardo en Conmutación de Paquetes. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- MathWorks. (2015). MathWorks. Obtenido de MathWorks: <https://www.mathworks.com/help/comm/examples/digital-video-broadcasting-terrestrial.html>
- PEREZ, N. (2013). Gestión del espectro radioelectrico para TV Digital. Merida: Universidad de los Andes.
- PISCIOTTA, N. (2014). Remultiplexor ISDB-T. Cordoba: Universidad Blas Pascal.
- PISCIOTTA, N. (Primera Parte-2014). Sistema ISDB-T. Córdoba: CIADE-IT, Universidad Blas Pascal.
- SHUBHANGI, J. (2014). BER Improvement in OFDM Using Coding Techniques. International Journal of Electrical and Electronics Research, 167-173.
- TARRÉS, F., & CABRERA, M. (2012). Codificación de canal II: códigos convolucionales. Barcelona: Universidad Oberta de Catalunya.

ANEXOS

ANEXO 1

Código para transmisión de Imagen

```
function DATOS_Callback(hObject, eventdata, handles)
[a,mapa]=imread('images1.bmp'); %Lee la imagen llamada 'images1',
%para asignarlo y trabajar con la variable 'a'
assignin('base','a',a);
assignin('base','mapa',mapa);
b=size(a);
assignin('base','b',b);
sizein=b(1)*b(2)*b(3); %Convierte el vector de la imagen RGB en una
%sola fila para trasmitirla.
assignin('base','sizein',sizein);
imageinput=reshape(a,1,sizein); %Se envía la imagen al simulink.
assignin('base','imageinput',imageinput);
```

%Se repite el mismo proceso para el resto de funciones de cada botón escogido en la interfaz de usuario.

```
function ENVIAROFDMDVBT_Callback(hObject, eventdata, handles)
[a,mapa]=imread('images1.bmp');
assignin('base','a',a);
assignin('base','mapa',mapa);
b=size(a);
assignin('base','b',b);
sizein=b(1)*b(2)*b(3);
assignin('base','sizein',sizein);
imageinput=reshape(a,1,sizein);
assignin('base','imageinput',imageinput);
```

```
function ENVIARCCOFDMISDBT_Callback(hObject, eventdata, handles)
[a,mapa]=imread('images1.bmp');
assignin('base','a',a);
assignin('base','mapa',mapa);
b=size(a);
assignin('base','b',b);
sizein=b(1)*b(2)*b(3);
assignin('base','sizein',sizein);
imageinput=reshape(a,1,sizein);
assignin('base','imageinput',imageinput);
```

```
function ENVIAROFDMISDBT_Callback(hObject, eventdata, handles)
[a,mapa]=imread('images1.bmp');
assignin('base','mapa',mapa);
b=size(a);
assignin('base','b',b);
sizein=b(1)*b(2)*b(3);
assignin('base','sizein',sizein);
imageinput=reshape(a,1,sizein);
assignin('base','imageinput',imageinput);
```


ANEXO 2

Procesamiento de la imagen recibida

```
function RESULTADOS_Callback(hObject, eventdata, handles)
output=evalin('base','output');
c=squeeze(output);%Quita o moldea las dimensiones simples obtenidas
%en el simulink a travez de la variable 'output'
assignin('base','c',c);
sizein=evalin('base','sizein');
for i=1:sizein
    assignin('base','i',i);
d(i,1)=c((i+(2*1598)),1);%Se debe depurar 'c' para no tomar binarios
%resultantes de los retardos de procesamiento
    assignin('base','d',d);
end
b=evalin('base','b');
e=reshape(d,b(1),b(2),b(3));%Se da un formato adecuado a los datos
%para representarlos en una imagen
assignin('base','e',e);
imwrite(e,'imagen_salida.bmp');%Los datos recibidos se dibujan en %la
imagen llamada 'imagen_salida'
[e,mape]=imread('imagen_salida.bmp');%Se asigna a 'mape' el mapa de
%colores
assignin('base','mape',mape);

%Presenta la imagen de entrada
a=evalin('base','a');
figure('Position', [300 250 size(a,1) size(a,2)]);
image(a);
mapa=evalin('base','mapa');
colormap(mapa);
axis image;
title('Imagen de Entrada');
axis off;

%Presenta la imagen de salida
figure('Position', [300+size(a,2) 250 size(e,1) size(e,2)]);
image(e);
colormap(mape);
axis image;
title('Imagen de Salida');
axis off;

%Repetir el mismo proceso para cada función programado en el botón
%que se haya colocado en la interfaz, depurando los binarios
%resultantes en cada estándar con su respectiva modulación.

function RESULTADOSOFDMDVBT_Callback(hObject, eventdata, handles)
output=evalin('base','output');
c=squeeze(output);
assignin('base','c',c);
sizein=evalin('base','sizein');
for i=1:sizein
    assignin('base','i',i);
d(i,1)=c((i+(3*441)),1);
    assignin('base','d',d);
end
b=evalin('base','b');
```

```

e=reshape(d,b(1),b(2),b(3));
assignin('base','e',e);
imwrite(e,'imagen_salida.bmp');
[e,mape]=imread('imagen_salida.bmp');
assignin('base','mape',mape);
a=evalin('base','a');
figure('Position', [300 250 size(a,1) size(a,2)]);
image(a);
mapa=evalin('base','mapa');
colormap(mapa);
axis image;
title('Imagen de Entrada');
axis off;

figure('Position', [300+size(a,2) 250 size(e,1) size(e,2)]);
image(e);
colormap(mape);
axis image;
title('Imagen de Salida');
axis off;

function RESULTADOSCCOFDMISDBT_Callback(hObject, eventdata, handles)
output=evalin('base','output');
c=squeeze(output);
assignin('base','c',c);
sizein=evalin('base','sizein');
for i=1:sizein
    assignin('base','i',i);
    d(i,1)=c((i+(12*1708)),1);
    assignin('base','d',d);
end
b=evalin('base','b');
e=reshape(d,b(1),b(2),b(3));
assignin('base','e',e);
imwrite(e,'imagen_salida.bmp');
[e,mape]=imread('imagen_salida.bmp');
assignin('base','mape',mape);

a=evalin('base','a');
figure('Position', [300 250 size(a,1) size(a,2)]);
image(a);
mapa=evalin('base','mapa');
colormap(mapa);
axis image;
title('Imagen de Entrada');
axis off;

figure('Position', [300+size(a,2) 250 size(e,1) size(e,2)]);
image(e);
colormap(mape);
axis image;
title('Imagen de Salida');
axis off;

function RESULTADOSOFDMISDBT_Callback(hObject, eventdata, handles)
output=evalin('base','output');
c=squeeze(output);
assignin('base','c',c);
sizein=evalin('base','sizein');
for i=1:sizein
    assignin('base','i',i);

```

```

d(i,1)=c((i+(13*2085)),1);
    assignin('base','d',d);
end
b=evalin('base','b');
e=reshape(d,b(1),b(2),b(3));
assignin('base','e',e);
imwrite(e,'imagen_salida.bmp');
[e,mape]=imread('imagen_salida.bmp');
assignin('base','mape',mape);

a=evalin('base','a');
figure('Position', [300 250 size(a,1) size(a,2)]);
image(a);
mapa=evalin('base','mapa');
colormap(mapa);
axis image;
title('Imagen de Entrada');
axis off;

figure('Position', [300+size(a,2) 250 size(e,1) size(e,2)]);
image(e);
colormap(mape);
axis image;
title('Imagen de Salida');
axis off;

```

ANEXO 3

Efecto multicamino

```
function SIMULINK_Callback(hObject, eventdata, handles)
a=get(handles.edit2,'String'); %Variable que almacenara el valor %del
canal muticamino a escoger
find_system('name','DVBT_A_CCOFDM_IMAGEN');
open_system('DVBT_A_CCOFDM_IMAGEN');
set_param('DVBT_A_CCOFDM_IMAGEN/Constant','Value',a); %Línea de
%commando para setear o escoger el canal por multicamino
set_param(gcs,'SimulationCommand','Start');

%Se realiza el mismo proceso para los demás estándares con sus
%respectivas modulaciones

function TRANSMITIROFDMDVBT_Callback(hObject, eventdata, handles)
a=get(handles.edit3,'String');
find_system('name','DVBT_OFDM_IMAGEN');
open_system('DVBT_OFDM_IMAGEN');
set_param('DVBT_OFDM_IMAGEN/Constant','Value',a);
set_param(gcs,'SimulationCommand','Start')

function TRANSMITIRCCOFDMISDBT_Callback(hObject, eventdata, handles)
a=get(handles.edit4,'String');
find_system('name','ISDBT_A_CCOFDM_IMAGEN');
open_system('ISDBT_A_CCOFDM_IMAGEN');
set_param('ISDBT_A_CCOFDM_IMAGEN/Constant','Value',a);
set_param(gcs,'SimulationCommand','Start');

function TRANSMITIROFDMISDBT_Callback(hObject, eventdata, handles)
a=get(handles.edit5,'String');
find_system('name','ISDBT_OFDM_IMAGEN');
open_system('ISDBT_OFDM_IMAGEN');
set_param('ISDBT_OFDM_IMAGEN/Constant','Value',a);
set_param(gcs,'SimulationCommand','Start');
```

ANEXO 4

Pruebas y resultados efectuados a la imagen con una variación de SNR=16 y 20 [dB] respectivamente, en los dos terrenos tipo A y C.

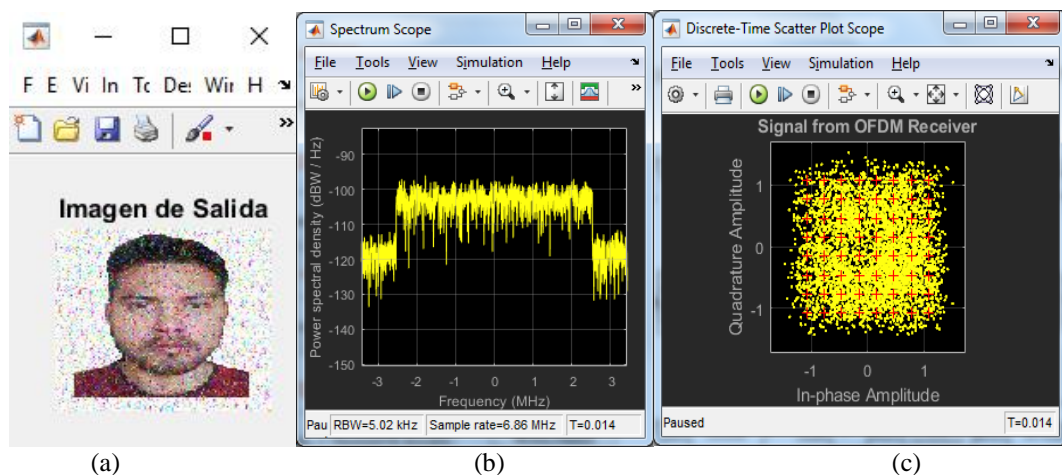
A continuación, se pueden observar sus efectos en las siguientes figuras.

Figura A.1. Imagen de entrada original



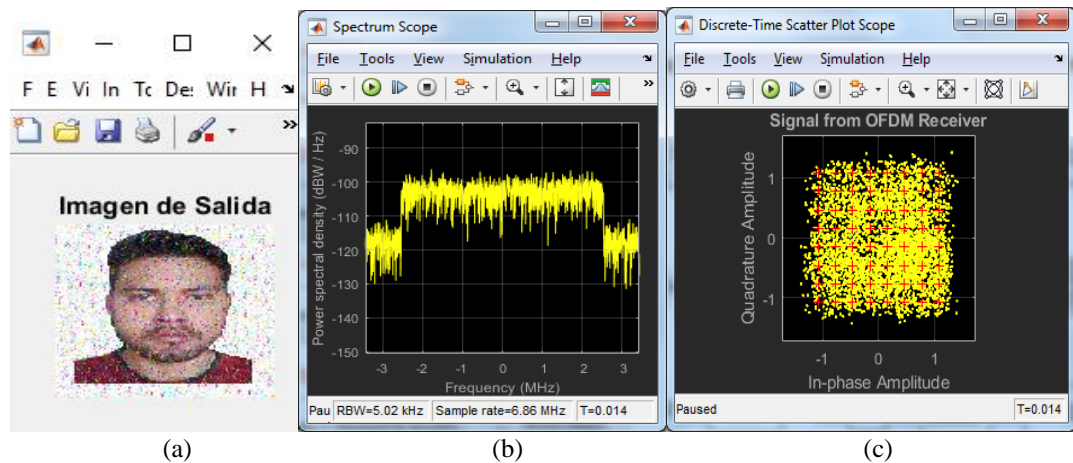
Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A.2. Imagen al pasar por el terreno A con SNR=16, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



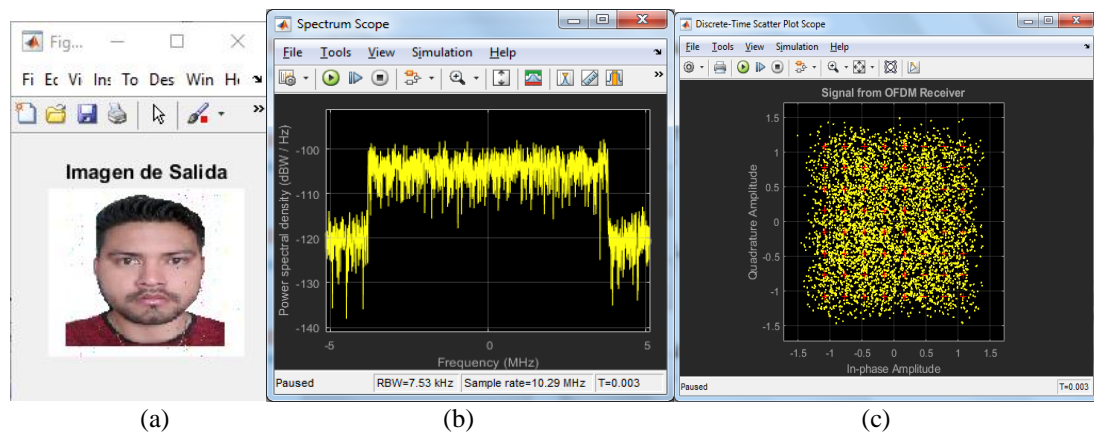
Estándar DVB-T con modulación OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A.3. Imagen al pasar por el terreno C con SNR=16, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



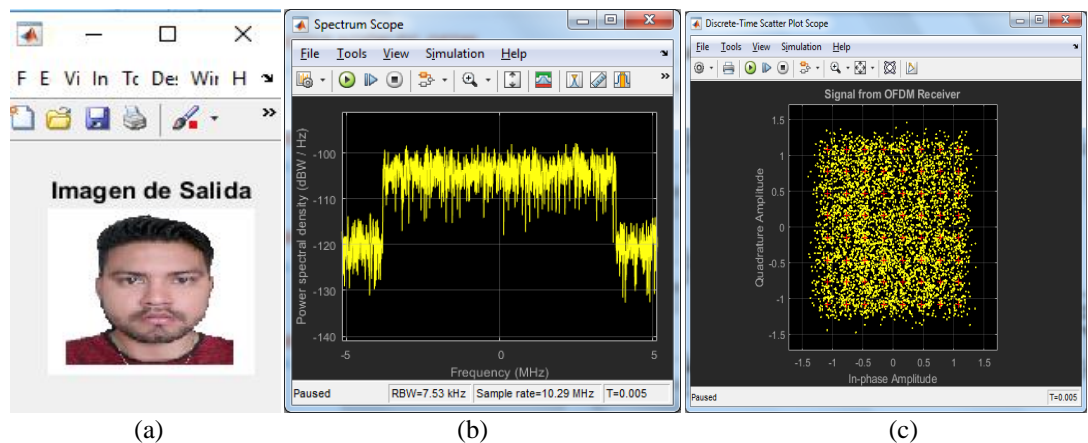
Estándar DVB-T con modulación OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A.4. Imagen al pasar por el terreno A con SNR=16, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



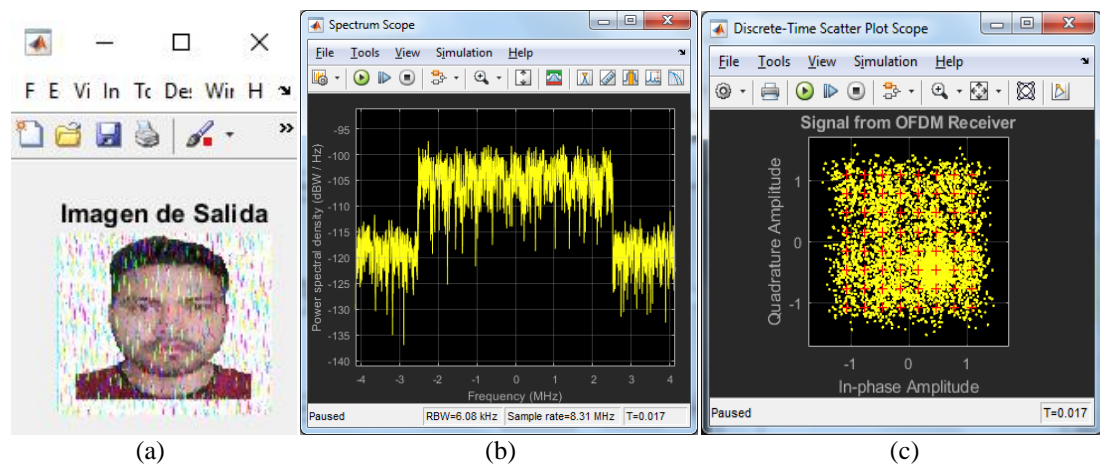
Estándar DVB-T con modulación CC-OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A.5. Imagen al pasar por el terreno C con SNR=16, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



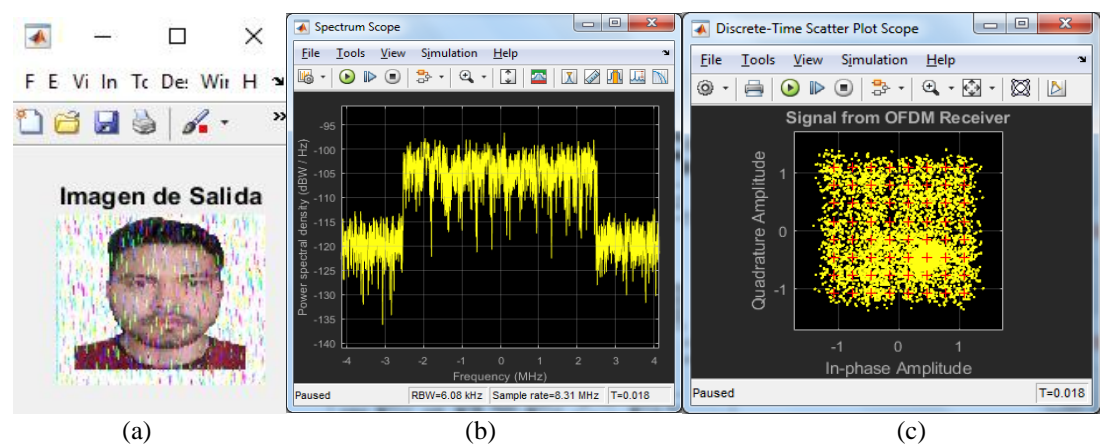
Estándar DVB-T con modulación CC-OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A.6. Imagen al pasar por el terreno A con SNR=16, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



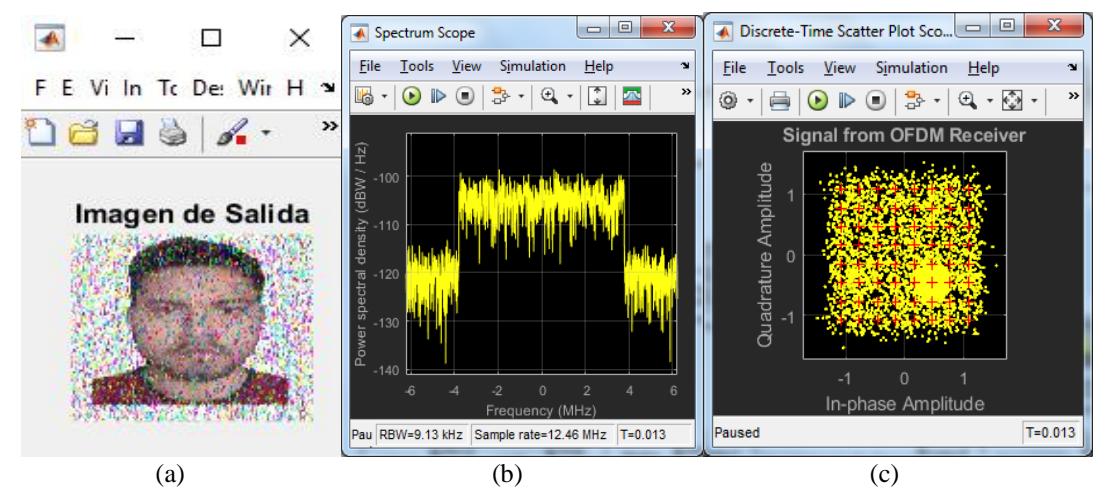
Estándar ISDB-T con modulación OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A.7. Imagen al pasar por el terreno C con SNR=16, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



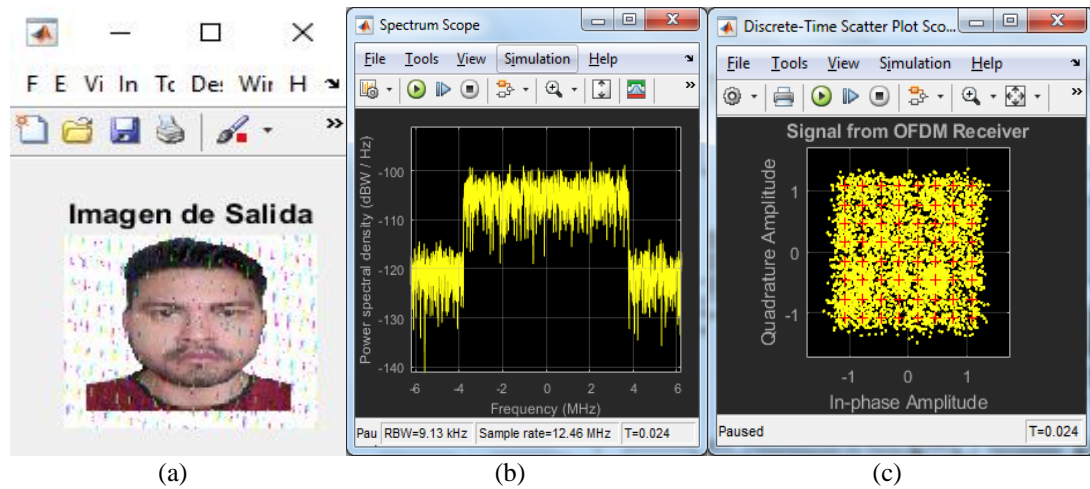
Estándar ISDB-T con modulación OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A.8. Imagen al pasar por el terreno A con SNR=16, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



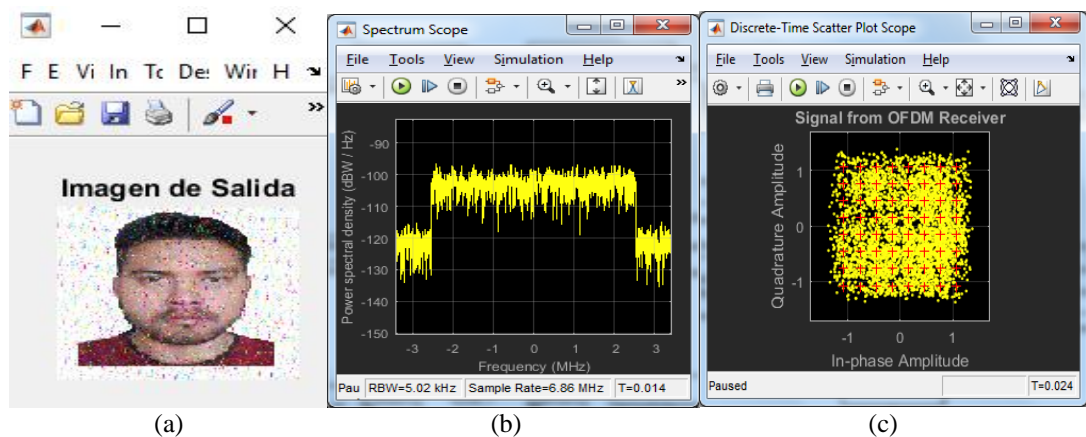
Estándar ISDB-T con modulación CC-OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A.9. Imagen al pasar por el terreno C con SNR=16, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



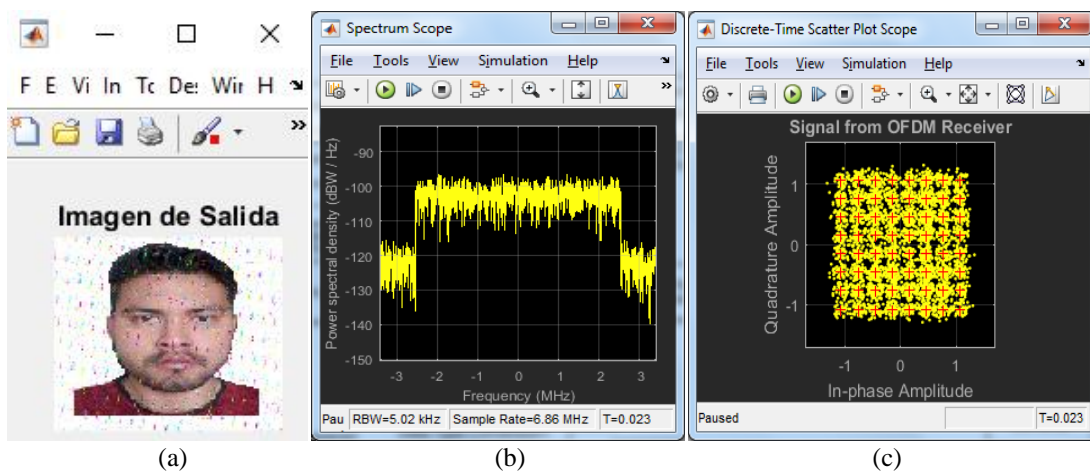
Estándar ISDB-T con modulación CC-OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A.10. Imagen al pasar por el terreno A con SNR=20, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



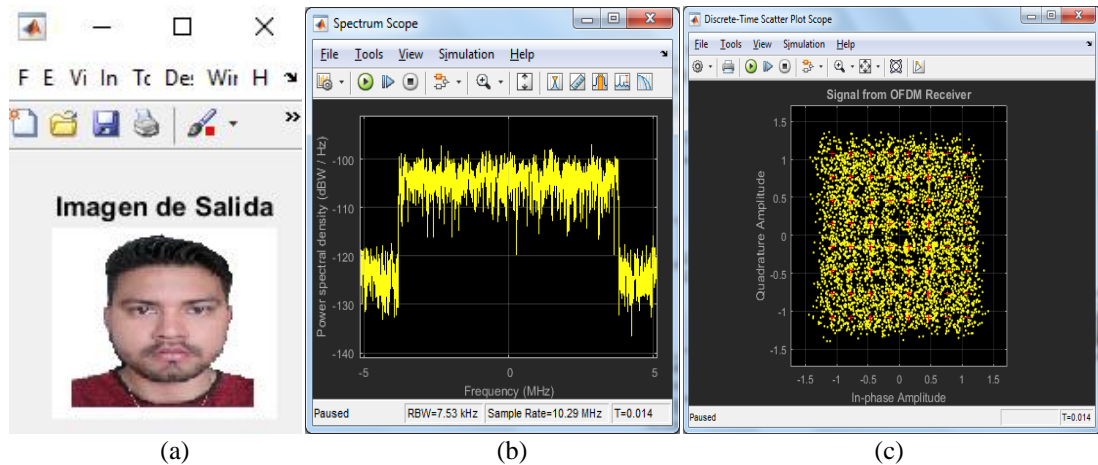
Estándar DVB-T con modulación OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A.11. Imagen al pasar por el terreno C con SNR=20, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



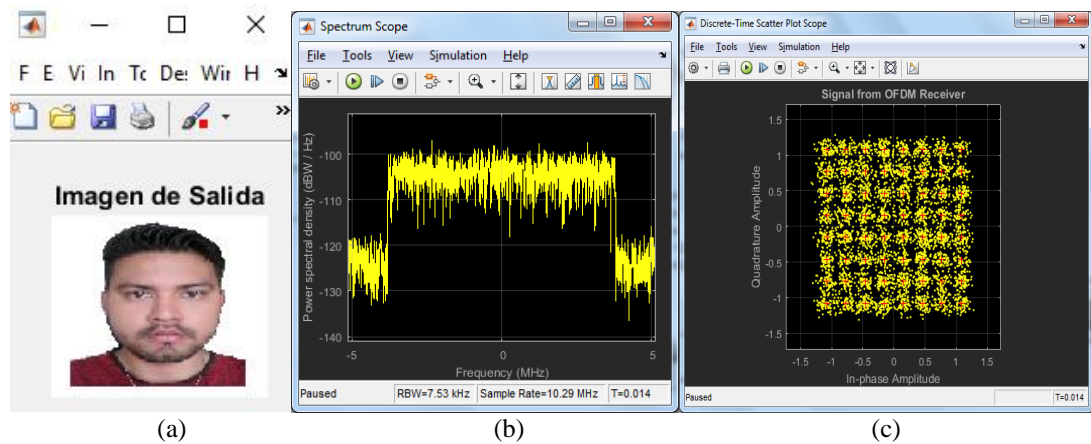
Estándar DVB-T con modulación OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A. 12. Imagen al pasar por el terreno A con SNR=20, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



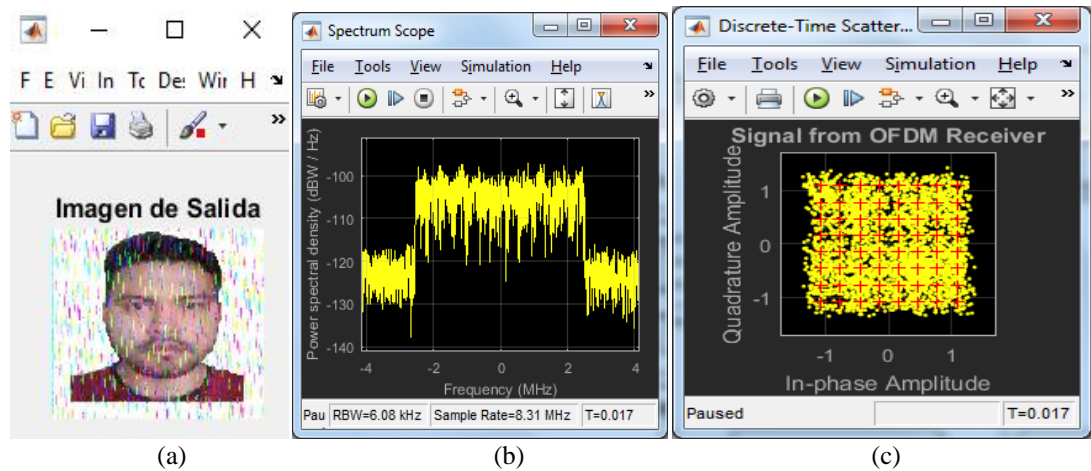
Estándar DVB-T con modulación CC-OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A.13. Imagen al pasar por el terreno C con SNR=20, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



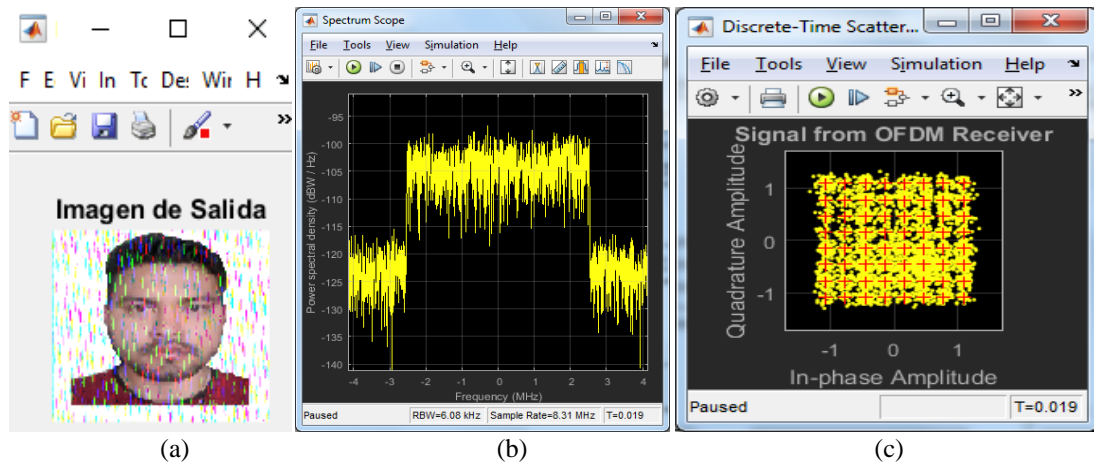
Estándar DVB-T con modulación CC-OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A.14. Imagen al pasar por el terreno A con SNR=20, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



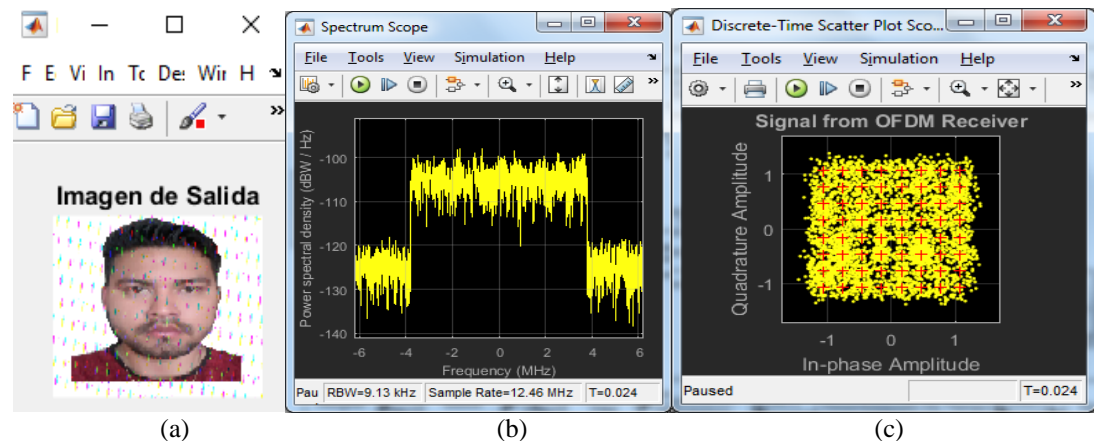
Estándar ISDB-T con modulación OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A.15. Imagen al pasar por el terreno C con $\text{SNR}=20$, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



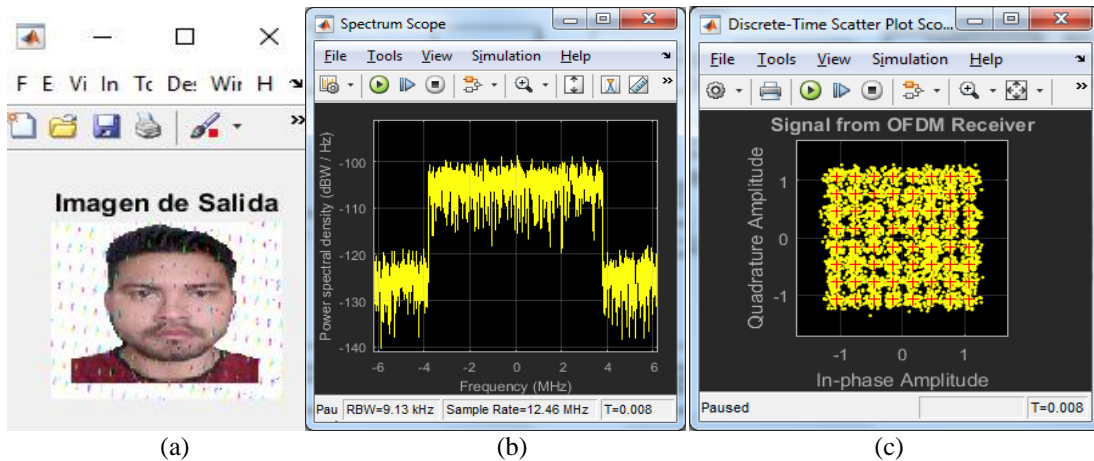
Estándar ISDB-T con modulación OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A.16. Imagen al pasar por el terreno A con $\text{SNR}=20$, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



Estándar ISDB-T con modulación CC-OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.

Figura A.17. Imagen al pasar por el terreno C con $\text{SNR}=20$, (a) espectro, (b) diagrama de constelaciones, (c)



Estándar ISDB-T con modulación CC-OFDM. Elaborado por: Gómez José y Lapo Holger.